ФИЗИЧЕСКОЕ ОБОЗРѢНІЕ

1907 г. ТОМЪ 8. № 5.

# Внутреннее треніе льда и физическія теоріи ледниковъ.

Б. П. Вейнберга.

Если опредѣленіе величины или, по крайней мѣрѣ, порядка коэффиціента внутренняго тренія какого нибудь твердаго тѣла представляетъ само по себѣ интересъ, то опредѣленіе этой физической постоянной для льда является интереснымъ еще въ томъ отношеніи, что одна десятая твердой поверхности земного шара покрыта непрерывно деформирующимся ледянымъ покровомъ. Этотъ ледяной покровъ, деформируясь, мало-по-малу движется съ мѣстъ, болѣе высокихъ надъ уровнемъ моря, въ мѣста, менѣе высокія, —и тамъ либо стаиваетъ, либо,—если доходитъ до моря,—обламывается и начинаетъ носиться по водѣ въ видѣ ледяныхъ горъ. Убыль отъ таянія и обламыванія, для отдѣльнаго ледника или для цѣлаго ледниковаго покрова, пополняется твердыми осадками, выпадающими въ болѣе высокихъ частяхъ. Скорость же перемѣщенія льда изъ этой „области питанія" къ „области таянія" должна, при прочихъ равныхъ условіяхъ, зависѣть отъ величины коэффиціента внутренняго тренія льда.

Такой взглядъ на значеніе этого коэффиціента для теоріи движенія льда въ ледникахъ является далеко не общепринятымъ, —тѣмъ болѣе, что мы не обладаемъ еще единою теоріею этого движенія, а имѣемъ лишь цѣлый рядъ теорій, каждая изъ которыхъ, конкурируя съ остальными, стремится придать исключительное значеніе какому нибудь одному явленію. Между тѣмъ движеніе льда въ ледникѣ—явленіе настолько сложное, что всякое обстоятельство, имѣющее сюда отношеніе и правильно объясненное физически, не можетъ потерять своего значенія, если даже на смѣну теоріи, дѣлавшей это явленіе краеугольнымъ камнемъ, явится другая.

Прежде, чѣмъ сдѣлать бѣглый обзоръ этихъ теорій, укажемъ на особенности строенія ледниковаго льда. Ледъ рѣчной или озерный представляетъ въ верхнемъ слоѣ совокупность кристалловъ въ видѣ иглъ и пластинокъ, оси которыхъ расположены, какъ попало, но въ горизонтальной плоскости; вся же остальная толщина представляетъ на всемъ протяженіи замерзшей поверхности правильное кристаллическое одноосное тѣло, въ которомъ оптическая ось перпендикулярна къ поверхности замерзанія. Поляризаціонными приборами или при таяніи обнаруживается, что эта масса рѣчного льда состоитъ изъ отдѣльныхъ призматическихъ кристалловъ неправильнаго сѣченія, образовавшихся, вѣроятно, разростаніемъ въ стороны до встрѣчи съ сосѣдними и внизъ. Ледниковый ледъ даетъ такую же картину совокупности сѣченій отдѣльныхъ кристалловъ, но въ любой плоскости и съ самою разнообразною оріентировкою осей. Онъ состоитъ такимъ образомъ изъ отдѣльныхъ „з е р е н ъ“, каждое изъ которыхъ является отдѣльнымъ кристалломъ, но которыя имѣютъ совершенно неправильную внѣшнюю форму и произвольно оріентированныя оси. Величина этихъ зеренъ крайне разнообразна – отъ горошины до кулака — и притомъ неодинакова въ различныхъ частяхъ ледника: въ частяхъ, болѣе близкихъ къ концу языка, зерна въ среднемъ больше, чѣмъ въ частяхъ, близкихъ къ фирну. Такимъ образомъ большія зерна какъ-бы поглащаютъ меньшія по мѣрѣ движенія, – подобно тому, какъ большія капли жидкости растутъ за счетъ малыхъ. Въ направленіи поверхностей раздѣла нѣкоторые изслѣдователи, — главнымъ образомъ ледниковъ полярныхъ странъ, —улавливаютъ преимущество горизонтальности, сравнивая обтаившій вертикальный разрѣзъ куска ледниковаго льда со стѣною циклопическихъ построекъ, гдѣ среди разнообразно наложенныхъ другъ на друга камней попадаются иногда довольно большія площадки, близкія къ горизонтальнымъ. Кромѣ того во льдѣ ледника, разсматриваемаго, какъ одно цѣлое, замѣтна извѣстная слоистость, — смѣна слоевъ болѣе голубовато-зеленоватаго льда, имѣющаго мало пузырей воздуха, слоями болѣе бѣловатаго льда, съ большимъ количествомъ пузырей, — и полосчатость, наличность слоевъ льда довольно мутнаго и загрязненнаго пылью.

Теоріи движенія льда въ ледникахъ различаются:

1) по тѣмъ силамъ, которыя принимаются за причину этого движенія,

2) по характеру движенія, который ему приписывается,

3) по физическому объясненію того свойства льда, благодаря которому возможно его движеніе.

Что касается силъ, вызывающихъ движеніе льда, то нѣкоторыя первоначальныя теоріи обращались къ тѣмъ силамъ, которыя развиваются при замерзаніи воды вслѣдствіе увеличенія объема, и сопоставляли сползаніе ледника, напр., со сползаніемъ наклонныхъ свинцовыхъ крышъ отъ смѣны нагрѣванія и охлажденія. Эти теоріи одно время возродились въ измѣненномъ видѣ, положивъ въ свою основу движеніе путемъ роста зеренъ за счетъ воды, проникающей чрезъ капиллярныя щели между ними при таяніи льда лѣтомъ. Въ настоящее время послѣ того, какъ опытомъ доказано, что эта инфильтраціонная вода проникаетъ лишь въ самые поверхностные слои льда, за причину движенія принимаютъ исключительно силу тяжести.

Относительно характера движенія мнѣніе однихъ авторовъ сводится къ тому, что ледъ движется по руслу ледника, какъ одно твердое тѣло, не измѣняя своей формы; другія же противоставляютъ этой теоріи „скольженія" теорію „теченія", по которой перемѣщеніе льда аналогично перемѣщенію воды по руслу рѣки. Первыя же болѣе или менѣе точныя и систематическія наблюденія рѣшили споръ безповоротно противъ первой теоріи: ледъ перемѣщается не такъ, какъ недеформируемое твердое тѣло, —среднія части его движутся быстрѣе частей, болѣе близкихъ къ берегамъ. Точно также нѣкоторыя, хотя и случайныя и мало надежныя, наблюденія въ щеляхъ показали, что нижнія части движутся медленнѣе верхнихъ. Однако вопросъ о величинѣ скорости движенія льда у самаго дна русла остается до сихъ поръ невыясненнымъ; можно сказать съ увѣренностью, что эта скорость—не нуль. Это показываетъ между прочимъ отшлифованность обнажившихся частей русла, – но непосредственныхъ измѣреній этой скорости пока нѣтъ.

Такимъ образомъ въ настоящее время является общепризнаннымъ, что ледъ въ ледникахъ течетъ подъ дѣйствіемъ силы тяжести и подобно вязкой жидкости. Самую-же возможность теченія такого твердаго—въ обычномъ смыслѣ слова—тѣла, какъ ледъ, объясняли и объясняютъ различными способами.

Одни прибѣгали для объясненія „пластичности" льда къ явленію пониженія температуры плавленія при повышеніи дав-

ленія: при увеличеніи давленія ледъ плавится, образующаяся вода переходитъ въ мѣста, гдѣ давленіе меньше, и тутъ происходитъ „регеляція“,—она снова образуетъ ледъ. Другія, исходя изъ той же идеи, видѣли причину подвижности льда въ его зернистой структурѣ и принимали, что плавленіе и смерзаніе происходятъ именно въ мѣстахъ соприкосновенія зеренъ. Третьи считали лишнимъ прибѣгать къ подобной „мокрой“ пластичности и допускали во льдѣ такую же „сухую“ пластичность, какую обнаруживаютъ, напр., металлы при температурахъ, далекихъ отъ точки плавленія. Четвертые, наконецъ, приписывали главную подвижность не самому льду, а тѣмъ прослойкамъ пыли, которыя образуютъ „слоистость“ и „полосчатость“.

Эти четыре мнѣнія стремятся рѣшить весьма интересный съ физической точки зрѣнія вопросъ о причинахъ пластичности ледниковаго льда, но рѣшаютъ его, если можно выразиться такъ, неэкономично въ смыслѣ затраты силъ и времени,—путемъ разсужденій, подкрѣпляемыхъ затруднительными и мало точными наблюденіями на ледникахъ, а не путемъ лабораторныхъ опытовъ. Эти мнѣнія отнюдь не представляютъ собою теоріи движенія льда ледниковъ,—въ смыслѣ теоріи, связывающей количественно причину—силу тяжести—со слѣдствіемъ—направленіемъ и скоростью движенія различныхъ точекъ льда. Связывающимъ звеномъ долженъ являться при этомъ коэффиціентъ внутренняго тренія ледниковаго льда, и знаніе этой величины необходимо для возможности повѣрки какой-либо физической теоріи ледниковъ, облеченной въ математическую форму.

Исходя изъ этихъ соображеній, я, послѣ произведенныхъ мною зимою 1905 г. измѣреній силъ внутренняго тренія въ рѣчномъ (Невскомъ) льдѣ, предпринялъ лѣтомъ того-же года поѣздку на ледники Южнаго Тироля (Гинтерейсфернеръ и сосѣдніе), движеніе которыхъ является наиболѣе изученнымъ, благодаря ежегоднымъ кропотливымъ и тщательнымъ работамъ двухъ нѣмецкихъ спеціалистовъ-физиковъ, д-ровъ Блюмке и Гесса. Результаты моихъ измѣреній, сдѣланныхъ по способу закручиванія цилиндровъ и сильно затруднявшихся трудностью изготовленія ледяныхъ цилиндровъ сколько нибудь правильной формы, даютъ таблицы I и II. Онѣ показываютъ, несмотря на очень малую точность этихъ опредѣленій (процентовъ въ 15 для рѣчного льда и процентовъ въ 30 для льда ледниковаго), что коэф-

фицiентъ внутренняго тренiя льда $\eta$ (выраженный здѣсь въ $10^{13}\dfrac{\text{гр.}}{\text{см. сек.}}$) замѣтно увеличивается при пониженiи температуры $\theta$ (дана въ $^0$C) и при уменьшенiи средней угловой скорости сдвига $\psi'$ при крученiи $\left(\text{выраженной въ } 10^{-8}\cdot\dfrac{1}{\text{сек.}}\right)$.

## Таблица I.

Рѣчной ледъ (перемѣщенiя, перпендикулярныя оптической оси).

| $\theta$ | $\psi'$ | $\eta$ | $\theta$ | $\psi'$ | $\eta$ | $\theta$ | $\psi'$ | $\eta$ | $\theta$ | $\psi'$ | $\eta$ | $\theta$ | $\psi'$ | $\eta$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| −0.1 | 27.7 | 1.00 | −0.7 | 19.9 | 1.38 | −1.5 | 14.4 | 1.93 | −3.8 | 8.84 | 3.11 | −5.9 | 6.14 | 4.42 |
| −0.3 | 14.7 | 1.72 | −0.8 | 12.1 | 2.07 | −1.9 | 9.80 | 2.52 | −3.5 | 7.91 | 3.07 | −5.0 | 1.82 | 8.43 |
| 0.0 | 4.18 | 1.59 | −1.1 | 1.65 | 3.57 | −2.0 | 3.28 | 5.84 | −4.0 | 1.37 | 6.66 | −5.7 | 0.85 | 12.32 |
| 0 0 | 2.95 | 3.65 | −1.0 | 1.54 | 6.51 | −2.6 | 1.88 | 4.76 | −4.4 | 1.06 | 13.45 | −6.4 | 0.66 | 9.16 |
| 0.0 | 2.83 | 2.52 | −0.8 | 1.50 | 4.71 | −2.1 | 1.19 | 8.48 | −4.0 | 0.92 | 10.98 | −5.7 | 0.56 | 11.32 |
| −0.1 | 1.64 | 6.11 | | | | −2 6 | 0.94 | 7.03 | −3.7 | 0.82 | 7.11 | | | |
| | | | | | | | | | −4.1 | 0.71 | 9.35 | | | |
| −7.3 | 5.65 | 4.70 | −8.6 | 5.02 | 5.34 | −11.4 | 3.36 | 7.99 | −14.0 | 2.61 | 10.14 | | | |
| | | | −8.6 | 0.45 | 14.90 | −11.2 | 0.36 | 18.38 | | | | | | |

## Таблица II.

Ледниковый ледъ.

| $\theta$ | $\psi'$ | $\eta$ | $\theta$ | $\psi'$ | $\eta$ | $\theta$ | $\psi'$ | $\eta$ | $\theta$ | $\psi'$ | $\eta$ | $\theta$ | $\psi'$ | $\eta$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| −0.7 | 36.9 | 0.21 | −1.4 | 69.5 | 0.21 | −2.5 | 55.1 | 0.27 | −3.0 | 13.8 | 0.99 | −4.3 | 51.5 | 0.33 |
| −0.1 | 29.7 | 0.25 | −1.4 | 40.3 | 0.39 | −2.3 | 43 5 | 0,27 | −3.4 | 8.14 | 2.57 | −5.0 | 9.85 | 0.28 |
| −0.4 | 29.3 | 0.50 | −1.2 | 22.3 | 0.53 | −2,2 | 16.0 | 0.72 | −3.2 | 7.24 | 1.30 | −4.5 | 6.70 | 2.46 |
| −0.8 | 14.8 | 0.93 | −1.0 | 18.2 | 0.47 | −2.6 | 14.2 | 0.97 | −3.1 | 7.08 | 1.13 | −4.5 | 0.97 | 3.98 |
| | | | −1.5 | 16.3 | 0.75 | −2.5 | 11.9 | 0.99 | −3.1 | 6.47 | 0.77 | | | |
| | | | −1.2 | 14.9 | 1.00 | −2.1 | 11.2 | 1.32 | −3.7 | 5.70 | 2.26 | | | |
| | | | −1.6 | 14.7 | 0.93 | −2.7 | 8.11 | 1.00 | −3.7 | 0.71 | 5.20 | | | |
| | | | −1.2 | 12.1 | 1.21 | −2 0 | 7.92 | 1.19 | −3.1 | 0.67 | 2.87 | | | |
| | | | −1.1 | 10.4 | 0.78 | −2 6 | 6.87 | 1.46 | | | | | | |
| | | | −1.7 | 9.31 | 1.54 | −2.8 | 6.28 | 2.06 | | | | | | |
| | | | −1.4 | 7.34 | 1.11 | −2.4 | 5.82 | 0.98 | | | | | | |
| | | | −1.0 | 5.55 | 1.99 | −2.0 | 3.94 | 1.23 | | | | | | |
| | | | −1.3 | 4.44 | 1.34 | −2.5 | 0.65 | 2.92 | | | | | | |
| | | | −1.5 | 2.22 | 2.67 | −2.2 | 0 15 | 2.75 | | | | | | |
| | | | −1 4 | 2.19 | 2.67 | | | | | | | | | |
| | | | −1.2 | 1.18 | 4.96 | | | | | | | | | |
| | | | −1.9 | 0.72 | 2.66 | | | | | | | | | |
| | | | −1.6 | 0.14 | 2.98 | | | | | | | | | |

Данныя таблицъ I и II довольно хорошо выражаются формулами

$$\eta = 0.95\left(1.13 - \frac{0.54}{\theta}\right)^{-\theta} + \frac{5}{\psi'} \quad (1),$$

$$\eta = 0.38\left(1.32 - \frac{0.65}{\theta}\right)^{-\theta} + \frac{0.8}{\psi'} \quad (2).$$

Формулы (1) и (2) даютъ поводъ считать, что ледъ подчиняется тому же закону релаксаціи, какой Шведовъ вывелъ на основаніи опытовъ надъ разведенными растворами желатины [1]), а въ такомъ случаѣ можно попытаться опредѣлить порядокъ времени релаксаціи и порядокъ того предѣльнаго угла сдвига, до котораго ледъ остается упругимъ,—изъ формулъ (1) и (2) и изъ модуля сдвига, оцѣнка котораго изъ опыта еще менѣе точна.

**Таблица III.**

| | Невскій ледъ. | Ледниковый ледъ. |
|---|---|---|
| Модуль сдвига N . . . . . | $10.10^9 \frac{\text{гр.}}{\text{см. сек.}^2}$ | $8.10^9 \frac{\text{гр.}}{\text{см. сек.}^2}$ |
| Время релаксаціи . . . | 950 сек. | 480 сек. |
| Предѣльный уголъ сдвига λ. | $5.10^{-5} = 10''$ | $1.10^{-5} = 2''$ |

Характерно, что ледниковый ледъ обладаетъ, повидимому, меньшимъ коэффиціентомъ внутренняго тренія, меньшимъ модулемъ сдвига, меньшимъ временемъ релаксаціи и болѣе низкимъ предѣломъ упругости, чѣмъ ледъ рѣчной, но болѣе подверженъ вліянію температуры. Эти особенности могутъ служить указаніемъ, что къ „сухой“ пластичности, которую слѣдуетъ допустить во льдѣ кристаллическомъ (рѣчномъ) для перемѣщеній, перпендикулярныхъ къ оси, присоединяется во льдѣ ледниковомъ, состоящемъ изъ отдѣльныхъ кусковъ кристалловъ, явленіе регеляціи.

Однако для теоріи ледниковъ—въ томъ видѣ, въ какомъ мы ее понимаемъ,—важна лишь численная величина коэффиці-

[1]) См. Физ. Обоз. 1097 стр. 61.

ента внутренняго тренiя, независимо отъ того, чѣмъ она вызывается.

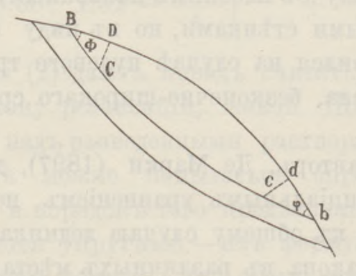
Въ литературѣ предмета можно указать лишь три-четыре попытки математическихъ теорiй. Первая принадлежитъ швейцарцу Оденну (1888), который рѣшилъ задачу о теченiи вязкой жидкости по каналу съ плоскимъ наклоннымъ дномъ и съ плоскими вертикальными стѣнками, но въ виду сложности рѣшенiя детальнѣе остановился на случаѣ нулевого тренiя у стѣнокъ, т. е. на случаѣ канала, безконечно-широкаго сравнительно съ глубиною.

Слѣдующiй авторъ, Де Марки (1897), довольствуется основнымъ дифференцiальнымъ уравненiемъ, не интегрируя его, и прилагаетъ его къ общему случаю ледника, толщина льда въ которомъ не одинакова въ различныхъ мѣстахъ. При этомъ онъ стремится вычислить значенiе $\eta$ по наблюденiямъ скорости теченiя ледниковъ, но за отсутствiемъ достаточнаго числа опредѣленiй на какомъ нибудь о д н о м ъ ледникѣ беретъ данныя, относящiяся къ р а з л и ч н ы м ъ ледникамъ, и такимъ путемъ получаетъ порядокъ значенiя $\eta$ для льда, а именно $10^{11}$—$10^{12}$ $\frac{\text{гр.}}{\text{см. сек.}}$.

Вычисливъ $\eta$ изъ наблюденiй Макъ-Киннеля и Кидда надъ растяженiемъ и сжатiемъ ледяныхъ стержней и получивъ значенiе того же порядка, Де Марки вывелъ заключенiе, что „движенiе поверхности ледника достаточно объясняется теорiею вязкаго движенiя“, — заключенiе нѣсколько поспѣшное, такъ какъ при вычисленiи $\eta$ изъ опытовъ Макъ Киннеля и Кидда Де Марки ошибся въ единицахъ и долженъ былъ бы получить $10^{14}$—$10^{15}$ вмѣсто $10^{11}$—$10^{12}$.

Тѣмъ не менѣе путь, по которому шелъ Де Марки, надо считать правильнымъ и, можетъ быть, болѣе плодотворнымъ въ концѣ концовъ, чѣмъ путь, избранный Финстервальдеромъ (1897). Этотъ авторъ, отбрасывая вовсе вопросъ о причинѣ движенiя, разсматриваетъ теченiе ледника исключительно кинематически. Онъ исходитъ изъ мысли, что каждому элементу поверхности въ области питанiя ледника, въ которомъ годовой приростъ отъ выпадавшихъ твердыхъ осадковъ больше годовой убыли отъ стаиванiя, долженъ соотвѣтствовать элементъ поверхности въ области таянiя, въ которой годовая убыль превышаетъ годовой приростъ. Дѣйствительно, частицы снѣга, выпавшiя въ точ-

къ $B$ области питанія (фиг. 1) и не успѣвшія растаять, должны покрыться другими снѣжинками, должны пройти извѣстный путь $B\,C\,c\,b$ подъ поверхностью и, выйдя затѣмъ въ опредѣленномъ мѣстѣ области питанія на поверхность, тамъ растаять.




Фиг. 1.

Въ стаціонарномъ ледникѣ путь движенія всѣхъ частицъ, выпадающихъ въ точкѣ $B$, долженъ быть одинаковымъ, и, слѣд., каждая трубка линій тока должна вырѣзать опредѣленные соотвѣтственные элементы на поверхности питанія и на поверхности таянія. Если чрезъ $\Delta F$ и $\Delta f$ назовемъ величину этихъ элементовъ, чрезъ $V$ и $v$ — среднюю годовую скорость движенія частицъ льда вблизи этихъ элементовъ, чрезъ $\Psi$ и $\psi$ — углы, образуемые направленіемъ движенія съ поверхностью, чрезъ $A$ — избытокъ прироста надъ убылью за годъ на элементѣ $\Delta F$, измѣренный по нормали къ нему, а чрезъ $a$ — избытокъ убыли на элементѣ $\Delta f$, измѣренный такъ-же, то, какъ видно изъ фиг. 1, принципъ сохраненія вещества даетъ

$$A \,.\, \Delta F = V \sin \Psi \,.\, \Delta F = v \sin \psi \,.\, \Delta f = a \,.\, \Delta f. \qquad (3)$$

Это уравненіе даетъ возможность изслѣдователю по быстротѣ перемѣщенія кампей, положенныхъ на поверхность ледника, или стержней, воткнутыхъ въ буровыя скважины во льдѣ, и по величинѣ годового прироста или убыли опредѣлять углы входа и выхода линій тока по отношенію къ поверхности ледника. Замѣчу, что измѣреніе значеній $a$ даетъ возможность опредѣлить, какое количество льда проходитъ за годъ черезъ нѣкоторое сѣченіе ледника, потому что все это количество — въ стаціонарномъ ледникѣ — должно стаять на лежащей за этимъ сѣченіемъ части поверхности таянія; а отсюда по средней толщинѣ льда можно узнать среднюю скорость и обратно.

Для того, чтобы опредѣлить дальнѣйшій путь частицъ льда внутри ледника, Финстервальдеру пришлось прибѣгнуть къ

нѣкоторымъ дополнительнымъ приближеннымъ предположеніямъ. При помощи ихъ Блюмке и Гессъ на основаніи своихъ многолѣтнихъ измѣреній на Гинтерейсфернерѣ вычислили вѣроятное распредѣленіе скоростей и вѣроятную форму профиля дна въ различныхъ сѣченіяхъ этого ледника; эта форма оказалась, несмотря на приближенность и даже неправильность добавочныхъ предположеній, довольно близкою къ дѣйствительности, какъ показали буренія, предпринятыя ими въ одномъ изъ сѣченій [1]).

Блюмке и Гессъ не ограничились этимъ, но попытались подвести свои результаты подъ полу-теоретическую, полу-экспериментальную формулу Эйтельвейна, выражающую среднюю скорость теченія воды по руслу. Эту попытку врядъ ли можно привѣтствовать, такъ какъ внѣшнее подобіе теченія воды въ рѣкѣ и движенія льда въ ледникахъ не должно закрывать собою глубокаго различія этихъ явленій. При теченіи воды главную роль играютъ возникающія въ ней вихревыя движенія, водовороты, которые и поглощаютъ громадную долю потенціальной энергіи силы тяжести; на долю же силъ внутренняго тренія на границахъ перемѣщающихся другъ относительно друга слоевъ приходится малая часть этой энергіи. Эти вихревыя движенія, благодаря которымъ вода течетъ въ рѣкахъ, въ каналахъ и въ широкихъ трубахъ въ сотни и тысячи разъ медленнѣе, чѣмъ текла-бы она, если-бы расчитать, исходя изъ скорости движенія въ капиллярѣ, возникаютъ лишь по достиженіи водою нѣкоторой „критической скорости", которая, какъ показалъ Рейнольдсъ, прямо пропорціональна коэффиціенту внутренняго тренія и обратно пропорціональна діаметру трубы. Если приложить формулу Рейнольдса ко льду, то окажется, что при радіусѣ трубы, равномъ средней толщѣ льда Гинтерейсфернера, критическая скорость будетъ превышать скорость свѣта, а труба, въ которой, при томъ же наклонѣ, могла-бы получиться критическая скорость, должна быть діаметра, близкаго къ діаметру земли. Отсюда очевидно, что возможность „льдоворотовъ" можно считать вполнѣ исключенною, и, слѣд., примѣненіе къ ледникамъ

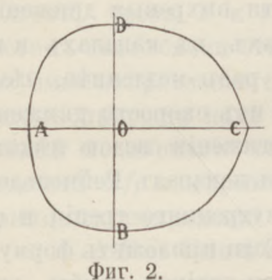
[1]) Не могу не обратить вниманіе на трудности, которыя они—кромѣ климатическихъ условій—встрѣчали, пробуравливая скважины до 200 м. глубиною во льду: во льду попадались камни, и онъ замѣтно деформировался за тѣ дни и недѣли, въ теченіе которыхъ шло буреніе.

формулъ гидродинамики является неподходящимъ; скорѣе слѣдуетъ прилагать формулы, относящіяся къ движенію вязкихъ жидкостей въ капиллярахъ, ибо русло ледника для льда—капилляръ.

Упомяну еще крайне приближенный разсчетъ Гесса, который, основываясь на болѣе или менѣе вѣроятномъ значеніи коэффиціента внѣшняго тренія между льдомъ и русломъ, вывелъ для коэффиціента внутренняго тренія льда величину $10^{16} - 10^{17} \frac{\text{гр.}}{\text{см. сек.}}$.

Обзоръ сдѣланныхъ попытокъ построенія теоріи ледниковъ, мнѣ кажется, показываетъ, что первымъ шагомъ въ этомъ направленіи должно быть рѣшеніе вопроса о теченіи вязкой жидкости по наклонному каналу при скоростяхъ, меньшихъ критической.

Этотъ почти не затронутый вопросъ стоитъ въ близкой связи съ довольно полно разработаннымъ вопросомъ о теченіи вязкой жидкости по наклонной трубѣ—при скоростяхъ, меньшихъ критической.



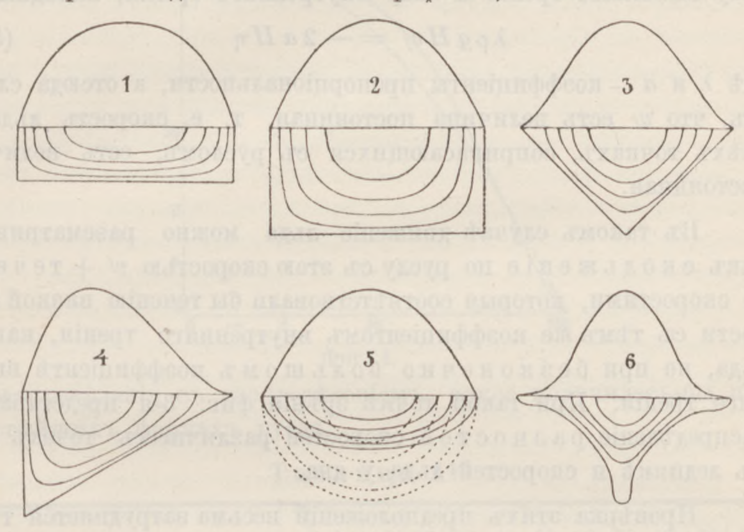
Фиг. 2.

Дѣйствительно, представимъ себѣ, что контуръ $ABCD$ (фиг. 2) сѣченія трубы можно разсѣчь горизонталью $AOC$ на двѣ половины и что, слѣд., можно раздѣлить трубу на двѣ равныя симметричныя части плоскостью, проходящею чрезъ линію $AC$ и ось трубы.

Такъ какъ вслѣдствіе симметріи частицы жидкости, лежащія непосредственно надъ этою плоскостью, имѣютъ такія же скорости, какъ частицы, лежащія непосредственно подъ нею, то ясно, что жидкость въ верхней части трубы, соотвѣтствующей половинѣ $ADCO$ сѣченія, на движеніе жидкости въ нижней части трубы, соотвѣтствующей половинѣ $ABCO$, никакого вліянія не имѣетъ и, слѣд., можетъ быть замѣнена, напр., воздухомъ. Другими словами, теченіе жидкости по каналу профиля $ABC$ одинаково - при прочихъ равныхъ условіяхъ—съ теченіемъ по нижней половинѣ трубы, сѣченіе которой $ABCD$ получается, если къ этому профилю приложить по линіи, пред-

ставляющей уровень свободной поверхности жидкости, зеркальное изображенiе этого профиля.

А такъ какъ задача о теченiи по трубѣ рѣшена для цѣлаго ряда сѣченiй, то и задача о теченiи по каналу является рѣшенною для ряда профилей. На фиг. 3-й изображено распредѣленiе скоростей для 6 такихъ профилей, а именно нанесены




Фиг. 3.

линiи, соединяющiя точки, въ которыхъ скорость равна 0·2, 0·4, 0·6 и 0·8 максимальной скорости, принадлежащей частицамъ на оси канала. Кривыя, нанесенныя надъ профилями, даютъ распредѣленiе скоростей на свободной поверхности, поперекъ русла. Для случая полуэллипса это распредѣленiе не будетъ зависѣть отъ отношенiя полуосей $b$ и $c$, поэтому на № 5 нанесены совмѣстно полуэллиптическiй и полукруглый каналы, какъ видно изъ формулы

$$v = \frac{\rho\, g\, b^2\, c^2 \sin \alpha}{2\eta\,(b^2 + c^2)} \left(1 - \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2}\right), \qquad (4),$$

дающей скорость въ точкѣ $y$ $r$, если $\rho$ — плотность льда, $\eta$ — его коэффицiентъ внутренняго тренiя, $g$ ускоренiе силы тяжести, а $\alpha$ – уголъ наклона русла.

Для ледника, однако, такъ просто разсматривать явленiе нельзя, потому что ледъ не пристаетъ неподвижно къ „стѣнкамъ капилляра“. Однако, если предположить силу внѣшняго

тренія пропорціональною вѣсу столба льда надъ даннымъ мѣстомъ русла и скорости $v_f$ льда въ этомъ мѣстѣ, а градіентъ убыванія скорости отъ поверхности ко дну пропорціональнымъ толщинѣ $H$ льда, какъ это получается для центральныхъ частей плоскихъ и полуэллиптическихъ каналовъ, то, приравнивая силу внѣшняго тренія и силу внутренняго тренія, находимъ

$$\lambda \rho g H v_f = -2 a H \eta \qquad (5),$$

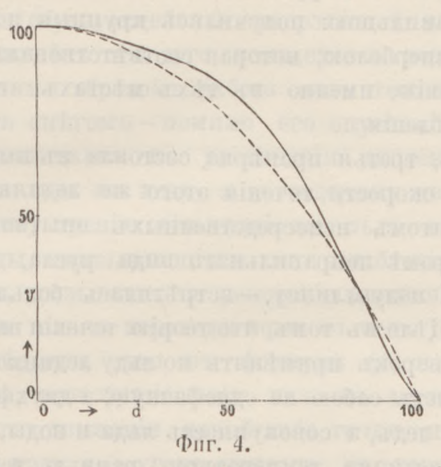
гдѣ $\lambda$ и $a$ — коэффиціенты пропорціональности, а отсюда слѣдуетъ, что $v_f$ есть величина постоянная, т. е. скорость льда во всѣхъ точкахъ, соприкасающихся съ русломъ, есть величина постоянная.

Въ такомъ случаѣ движеніе льда можно разсматривать, какъ скольженіе по руслу съ этою скоростью $v_f$ + теченіе со скоростями, которыя соотвѣтствовали бы теченію вязкой жидкости съ тѣмъ же коэффиціентомъ внутренняго тренія, какъ у льда, но при безконечно большомъ коэффиціентѣ внѣшняго тренія. При такой точкѣ зрѣнія фиг. 3-я представляетъ распредѣленіе разностей скоростей различныхъ точекъ льда въ ледникѣ и скоростей льда у дна.

Провѣрка этихъ предположеній весьма затрудняется тѣмъ, что мы пока находимся по отношенію къ ледникамъ въ положеніи аналогичномъ тому, въ какомъ были метеорологи до изслѣдованія высшихъ слоевъ атмосферы: они изучали явленія на днѣ воздушнаго океана и должны были догадываться о томъ, что дѣлается наверху, — мы же пока изучаемъ лишь явленія въ самыхъ верхнихъ слояхъ ледниковъ и должны догадываться о томъ, что дѣлается внутри.

Для провѣрки я взялъ распредѣленія скорости на поверхности 11 ледниковъ, для которыхъ, однако, ни форма русла, ни толщина слоя льда, ни наклонъ неизвѣстны, и выразилъ для каждаго разности скорости различныхъ точекъ и скорости у берега въ процентахъ разностью наибольшей скорости и скорости у берега. Точно также разстояніе различныхъ точекъ отъ середины я выражалъ въ процентахъ разстоянія отъ середины до края. Среднее изъ этихъ данныхъ, крайне разнообразныхъ и завѣдомо заключающихъ въ себѣ крупныя ошибки

измѣреній, изображено сплошною линіею на фиг. 4, гдѣ пунктирная линія даетъ гиперболическое распредѣленіе при полуэллиптическомъ руслѣ. Таблица IV даетъ сравненіе этого средняго распредѣленія съ распредѣленіемъ, какое получилось-бы при простѣйшихъ формахъ русла.



Фиг. 4.

**Таблица IV.**

| Разстояніе отъ середины русла. | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Среднее изъ 11 ледниковъ . | 100 | 99 | 97 | 93 | 89 | 83 | 73 | 58 | 33 | 17 | 0 |
| Каналъ прямоугольнаго сѣченія | 100 | 99 | 98 | 95 | 91 | 85 | 77 | 65 | 50 | 28 | 0 |
| Каналъ полуэллиптич. сѣченія | 100 | 99 | 96 | 91 | 84 | 75 | 64 | 51 | 36 | 19 | 0 |
| Каналъ треугольнаго сѣченія . | 100 | 98 | 93 | 85 | 74 | 62 | 47 | 32 | 18 | 7 | 0 |

Если разсмотрѣть эту таблицу и сопоставить фиг. 4 съ фиг. 3, обративъ вниманіе на то, что перегибъ на кривой распредѣленія скоростей получается въ тѣхъ случаяхъ, когда стѣнка канала идетъ не вертикально внизъ, а составляетъ нѣкоторый уголъ съ вертикалью, то придемъ къ выводу, что „средній профиль" этихъ 11 каналовъ, при справедливости нашихъ разсужденій, долженъ имѣть срединную горизонтальную часть, которая постепенно закругляясь, переходитъ въ пологіе берега. Такой видъ профиля вполнѣ соотвѣтствуетъ тому апріорному представленію о средней формѣ русла, какой можно составить себѣ по формѣ старыхъ руселъ стаявшихъ теперь ледниковъ.

Вторая—тоже чисто качественная—провѣрка заключалась въ сравненіи распредѣленія скоростей на поверхности Гинтерейсфернера съ формою его русла,—единственною, извѣстною пока и весьма неправильною: получились крупныя повышенія сравнительно съ гиперболою, которая соотвѣтствовала бы полуэллиптическому сѣченію, именно въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ дно имѣетъ замѣтныя углубленія

Наконецъ, третья провѣрка состояла въ вычисленіи коэффиціента $\eta$ по скорости теченія этого же ледника и сравненіи его съ результатомъ непосредственныхъ опытовъ. При этомъ вычисленіи—кромѣ неправильнаго вида русла, которое пришлось уподобить полуэллипсу,—встрѣтилась большая теоретическая трудность. Дѣло въ томъ, что теорію теченія вязкой жидкости нельзя безъ оговорокъ примѣнять ко льду ледниковъ, такъ какъ онъ представляетъ собою не однофазную, а двухфазную систему: это—не просто ледъ, а совокупность льда и воды, имѣющихъ въ каждой точкѣ ледника температуру, равную температурѣ плавленія льда подъ давленіемъ столба льда надъ этою точкою. Эта вода получается, какъ отъ плавленія льда отъ внутренняго тренія (нѣсколько десятыхъ % для нижнихъ слоевъ льда послѣ нѣсколькихъ сотъ лѣтъ его движенія), такъ и отъ сжатія льда наваливающимся сверху и превращающимся въ ледъ снѣгомъ (0·4% на каждые 100 метровъ толщины слоя навалившагося льда). Ледникъ мы вправѣ разсматривать, какъ термически изолированное тѣло: потокъ тепла снизу отъ земного ядра и лѣтніе потоки тепла сверху только плавятъ поверхностные слои, а зимній потокъ холода не успѣваетъ проникнуть на замѣтную глубину. Поэтому вопросъ о движеніи льда есть въ сущности вопросъ объ адіабатическомъ теченіи системы: ледъ—вода,—вопросъ, теоретически неразработанный. Если-бы толщина льда надъ каждою линіею тока была во всѣхъ точкахъ одинакова, то эта особенность не имѣла бы никакого значенія. Въ дѣйствительности же мы не имѣемъ этого упрощенія, такъ какъ ледъ по мѣрѣ своего движенія поступаетъ подъ все большія и большія давленія выпавшихъ позднѣе него твердыхъ осадковъ, какъ это видно, между прочимъ, изъ фиг. 1; перейдя-же раздѣлъ между областью питанія и областью таянія, ледъ поступаетъ подъ все меньшія и меньшія давленія, такъ какъ налегавшія на него массы льда мало-по-малу стаиваютъ. Въ первой стадіи отъ увеличенія дав-

ленія часть льда плавится и температура понижается, во второй — образовавшаяся вода отъ уменьшенія давленія замерзаетъ и температура повышается.

Количество образующейся и замерзающей воды не должно, повидимому, зависѣть отъ того, находится-ли ледъ въ движеніи или покоѣ. Такимъ образомъ работа силы тяжести, производимая выпавшимъ снѣгомъ — помимо его опусканія по линіямъ тока — и сказывающаяся въ увеличеніи давленія, вызываетъ только переходъ льда въ воду, а не задержку движенія, въ помощь внутреннему тренію. Стаиваніе же льда и стеканіе образовавшейся воды, сказывающіяся въ ослабленіи давленія на внутренніе слои, вызываетъ не ускореніе движенія, въ помощь силѣ тяжести, а только переходъ воды въ ледъ.

Отсюда слѣдуетъ, что въ формулѣ (4) и подобныхъ ей нужно понимать, при примѣненіи ихъ къ ледникамъ, подъ $v$ разность скорости движенія какой-либо точки и скорости движенія у дна, а подъ $\alpha$ — уголъ наклона къ горизонту линій тока, а не поверхности ледника, какъ слѣдовало-бы, если-бы мы имѣли дѣло съ однофазною системою, и какъ бралъ, напр., Де Марки.

Вычисляя съ такой точки зрѣнія коэффиціентъ внутренняго тренія льда по скорости теченія на поверхности, по средней глубинѣ и по уклону русла въ 7 сѣченіяхъ Гинтерейсфернера, причемъ изъ опыта глубина извѣстна лишь для одного изъ сѣченій, а для остальныхъ она является вычисленною, какъ и уклонъ, я получилъ въ среднемъ

$$\eta = (1 \cdot 7 \mp 1 \cdot 0) \, . \, 10^{13} \, \frac{\text{гр.}}{\text{см. сек.}} \, . \qquad (6).$$

Вычисляя же на основаніи своихъ опытовъ коэффиціентъ внутренняго тренія для соотвѣтствующихъ значеній средней угловой скорости сдвига и для температуры $0^0$ — по формулѣ (2) —, я нашелъ

$$\eta = (1 \cdot 8 \mp 1 \cdot 1) \, . \, 10^{13} \, \frac{\text{гр.}}{\text{см. сек.}} \, . \qquad (7).$$

По сравненію съ тою разницею, какую можно было-бы ожидать, судя по крайней приближенности, какъ опытовъ, такъ и теоріи, различіе значеній (6) и (7) настолько невелико, что эту незначительность слѣдуетъ приписать про-

стой случайности. Но во всякомъ случаѣ эта третья провѣрка также является скорѣе подтвержденіемъ, а не противорѣчіемъ развитой здѣсь теоріи, по которой ледникъ, скользя, какъ одно твердое тѣло, по руслу, вмѣстѣ съ тѣмъ деформируется, какъ вязкая жидкость, измѣняя количество заключенной въ немъ воды въ зависимости отъ давленія. Быстрота скольженія опредѣляется наклономъ русла и силами внѣшняго тренія между льдомъ и русломъ, а быстрота деформаціи—наклономъ и формою русла и силами внутренняго тренія льда.

Если обратимъ вниманіе на то, что измѣненія давленія на внутренніе слои, вызываемые налагающимися и стаивающими массами снѣга и льда, не способствуютъ и не препятствуютъ работѣ силы тяжести, а уравновѣшиваются процессами перехода льда въ воду и воды въ ледъ; если обратимъ вниманіе на то, что эти переходы, вѣроятно, сосредоточены на поверхностяхъ раздѣла зеренъ; если обратимъ вниманіе на то, что есть нѣкоторое различіе въ свойствахъ льда вдоль слоевъ и поперекъ ихъ, то мы увидимъ, что каждая изъ предложенныхъ въ свое время теорій въ нѣкоторомъ отношеніи права,- будетъ-ли это теорія термическаго характера силъ, отъ которыхъ зависитъ движеніе льда, теорія роста зеренъ, регеляціонная теорія, теорія движенія ледника, какъ цѣлаго, теорія скольженія по слоистости или теорія теченія. Такимъ образомъ приходимъ къ убѣжденію, что движеніе льда въ ледникахъ слѣдуетъ разсматривать съ точки зрѣнія совокупности всѣхъ этихъ теорій, не противорѣчащихъ, а взаимно дополняющихъ другъ друга.

С.-Петербургъ.

---

# Жизнь и труды Д. И. Менделѣева.

## В. Я. Курбатова[1]).

---

### III.

#### Періодическая система элементовъ.

Теперь мы переходимъ къ главной научной заслугѣ Дм. Ивановича—періодическому закону. Въ виду весьма разносторонняго значенія этого закона и споровъ относительно пріоритета нужно подробно разсмотрѣть исторію его созданія.

Понятіе объ элементахъ, какъ о независимыхъ индивидахъ матеріи, изъ сочетаній которыхъ образованы всѣ вещества природы, принадлежитъ къ древнѣйшимъ положеніямъ науки. Но и въ древности, и въ новые вѣка оно страдало нѣкоторой неопредѣленностью благодаря тому, что параллельно развивалось ученіе объ единой первичной матеріи. Въ XVII вѣкѣ Р. Бойль впервые высказалъ положеніе, что есть вещества сложныя и вещества простыя—неразлагаемыя; къ числу послѣднихъ онъ относилъ золото и серебро. Но это опредѣленіе было лишь опытнымъ: извѣстныя тѣла считаются простыми, пока не удастся ихъ разложить. Лишь въ концѣ XVIII вѣка Лавуазье высказываетъ ученіе объ элементахъ, съ одной стороны, опредѣляя ихъ какъ Бойль, а съ другой—проводя мысль, что среди тѣлъ природы имѣются тѣла разной степени сложности.

Нѣкоторые, напримѣръ, кислородъ, водородъ и азотъ, неразлагаемы, но нельзя, конечно, ручаться, что не удастся ихъ разложить новыми еще неизвѣстными силами. Однако, для Лавуазье было ясно, что, если такая разлагаемость и будетъ обнаружена, то она будетъ иная, чѣмъ для обыкновенныхъ сложныхъ тѣлъ.

---

[1]) См. „Физич. Обозр.“ 1907, стр. 189.

Элементы это особый разрядъ тѣлъ въ отношеніи разлагаемости[1]). Но ни опытнаго признака, ни теоретическаго опредѣленія „элемента“ Лавуазье не далъ, и, такъ сказать, чутьемъ часть тѣлъ призналъ простыми, состоящими изъ одного элемента. Прошло нѣсколько десятковъ лѣтъ, и появилась теорія Пру, по которой всѣ элементы были различными степенями уплотненія одного изъ нихъ—водорода. Мы знаемъ, что положеніе Пру, основанное на близости атомныхъ вѣсовъ къ простымъ числамъ, было отвергнуто болѣе точными изслѣдованіями, но самая живучесть этого мнѣнія и та эволюція, которой оно подвергалось у Дюма, Лау и т. д., показываетъ, что мысль Лавуазье не была цѣликомъ принята, и смыслъ понятія „элементъ“ не былъ ясенъ.

Несмотря на эту неясность, понятіе объ элементахъ входило въ общее употребленіе и съ двадцатыхъ годовъ XIX вѣка начинаются попытки систематизировать элементы. Одна изъ первыхъ была попытка Доберейнера, замѣтившаго среди элементовъ группы изъ трехъ, причемъ одинъ и по атомному вѣсу и по свойствамъ оказывался по срединѣ между двумя остальными. Эти зачатки естественныхъ группъ изучались не разъ, хотя бы Леннсеномъ, Кремерсомъ и др., но онѣ касались лишь нѣкоторыхъ элементовъ, составляющихъ извѣстныя группы, а всѣ другіе элементы оставались внѣ системы.

Были и попытки классифицировать элементы по ихъ атомному вѣсу. Первая принадлежитъ Гладстону (1853 г.), но вслѣдствіе неточныхъ чиселъ ему удалось лишь установить, что 1) близкіе по свойствамъ элементы имѣютъ близкіе атомные вѣса (напр. группа желѣза, платины и т. д.); 2) или вѣса ихъ стоятъ въ простомъ кратномъ отношеніи; 3) или отличаются на одинаковую величину, *(Li, Na, K)*. Это сопоставленіе очень остроумно, особенно благодаря сравненію перваго случая съ аллотропіей, второго съ полимеріей, третьяго съ гомологическими рядами; но вывода изъ этого сопоставленія нельзя дѣлать никакого, тѣмъ болѣе, что мысль естественно направлялась въ сторону гипотезы Пру, а никакихъ реальныхъ доказательствъ (хотя бы перехода одного элемента въ другой) не было. Значи-

---

[1]) Послѣднія двѣ фразы выражаютъ духъ ученія Лавуазье; у него самого ихъ не имѣется.

тельнымъ шагомъ впередъ была попытка Нюлэндса расположившаго элементы по величинѣ атомнаго вѣса и замѣтившаго, что свойства элементовъ періодически повторяются. Нюлэндсъ смотрѣлъ на свою систему, какъ на красивое совпаденіе, сравнивалъ періоды въ 8 элементовъ съ октавами музыки, и даже располагалъ элементы не по величинѣ, а по порядку атомнаго вѣса (напр. произвольно по 2 элемента, — *Co* и *Ni*; *Pt* и *Jr*, —онъ ставилъ на мѣсто одного, а едва отличающіеся отъ нихъ по атомнымъ вѣсамъ, *Fe* и *Os*, отдѣлялъ).

Таково было положеніе вопроса къ концу шестидесятыхъ годовъ. Съ одной стороны тріады Доберейнера, Кремерса, Ленносена указывали на существованіе естественныхъ группъ элементовъ, но это указаніе не охватывало всѣ извѣстные въ то время элементы. Съ другой стороны Нюлэндсъ своими октавами указывалъ на періодичность свойствъ, но и это оставалось лишь красивымъ обобщеніемъ.

Открытіе закона, какъ разсказываетъ Менделѣевъ, произошло во время исканія классификаціи элементовъ для „Основъ химіи“. На самомъ же дѣлѣ оно было естественнымъ слѣдствіемъ признанія двухъ положеній: ученія Лавуазье объ элементахъ, какъ индивидуумахъ матеріи одинаковаго порядка, и ученія атомистическаго, приведшаго Дальтона къ вѣсомымъ соотношеніямъ состава тѣлъ.

Всѣ химическія взаимодѣйствія происходятъ между атомами. О свойствахъ самихъ атомовъ мы ничего не знаемъ, кромѣ ихъ относительной массы. А такъ какъ свойства соединеній и свойства реакцій стоятъ въ зависимости отъ отношенія, въ которомъ соединяются атомы, то зависимость между массою и химическими свойствами атома становится несомнѣнной. Приблизительно такимъ путемъ шелъ и Дм. Ив., какъ онъ самъ говоритъ въ примѣчаніи къ „Основамъ химіи“ [1]): „Посвятивъ свои силы изученію вещества, я вижу въ немъ два такихъ признака или свойства: массу, занимающую пространство и проявляющуюся въ притяженіи, а яснѣе и реальнѣе всего въ вѣсѣ, и индивидуальность, выраженную въ химическихъ превращеніяхъ, а яснѣе всего формулированную въ представленіи о химическихъ элементахъ. Когда думаешь о веществѣ, помимо

[1]) Седьмое изданіе, стр. 467, 15-bis.

всякаго представленія о матеріальныхъ атомахъ, нельзя для меня избѣжать двухъ вопросовъ: сколько и какого дано вещества, чему и соотвѣтствуютъ понятія массы и химическихъ элементовъ. Исторія же науки, касающейся вещества, т. е. химіи, приводитъ—волей или неволей—къ требованію признанія не только вѣчности массы вещества, но и къ вѣчности химическихъ элементовъ. Поэтому невольно зарождается мысль о томъ, что между массою и химическими элементами необходимо должна быть связь, а такъ какъ масса вещества хотя и не абсолютная, а лишь относительная, выражается окончательно въ видѣ атомовъ, то надо искать функціональнаго соотвѣтствія между индивидуальными свойствами элементовъ и ихъ атомными вѣсами. Искать же чего либо—хотя бы грибовъ, или какую-либо зависимость—нельзя иначе, какъ смотря и пробуя. Вотъ я и сталъ подбирать, написавъ на отдѣльныхъ карточкахъ элементы, съ ихъ атомными вѣсами и коренными свойствами, сходные элементы и близкіе атомные вѣса, что быстро и привело къ тому заключенію, что свойства элементовъ стоятъ въ періодической зависимости ихъ атомнаго вѣса, причемъ, сомнѣваясь во многихъ неясностяхъ, я ни минуты не сомнѣвался въ общности сдѣланнаго вывода, такъ какъ случайности допустить было невозможно". И такъ Менделѣевъ иначе пришелъ къ періодическому закону, чѣмъ его предшественники, онъ ожидалъ какой-нибудь зависимости, тѣ-же лишь замѣчали ее и робко варьировали комбинаціи элементовъ. Конечно, первая таблица составленная имъ была очень несовершенна, отчасти вслѣдствіе неточности атомныхъ вѣсовъ того времени, отчасти благодаря тому, что сложная функція атомныхъ вѣсовъ не поддавалась простой формулировкѣ.

Такъ, свинецъ попалъ въ группу щелочныхъ земель (см. табл. 1) — ртуть въ группу мѣди и серебра, таллій въ группу щелочныхъ металловъ, золото въ группу аллюминія, но эти ошибки не были случайными. Изъ таблицы ясно, что порядокъ тяжелыхъ элементовъ можно перемѣнить, поставивъ въ порядкѣ ихъ атомнаго вѣса, т. е *Au*, *Hg*, *Tl*, *Pb*, *Bi*. Но у Менделѣева была мысль не о классификаціи только, но и о естественной системѣ, т. е. что классификація должна дать группы сходныя по химическимъ свойствамъ, и что, можетъ быть, нѣкоторыя вѣса и слѣдуетъ исправить.

**Опытъ системы элементовъ, основанной на ихъ атомномъ вѣсѣ и химическомъ сходствѣ[1]).**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | *Ti*=50 | *Zr*=90 | ?=180 |
| | | | *V*=51 | *Nb*=94 | *Ta*=182 |
| | | | *Cr*=52 | *Mo*=96 | *W*=186 |
| | | | *Mn*=55 | *Rh*=104,4 | *Pt*=197,4 |
| | | | *Fe*=56 | *Ru*=104,4 | *Jr*=198 |
| | | | *Ni*=*Co*=59 | *Pl*=106,6 | *Os*=199 |
| *H*=1 | | | *Cu*=63,4 | *Ag*=108 | *Hg*=200 |
| | *Be*=9,4 | *Mg*=24 | *Zn*=65,2 | *Cd*=112 | |
| | *B*=11 | *Al*=27,4 | ?=68 | *Ur*=116 | *Au*=137? |
| | *C*=12 | *Si*=28 | ?=70 | *Sn*=118 | |
| | *N*=14 | *P*=31 | *As*=75 | *Sb*=122 | *Bi*=210? |
| | *O*=16 | *S*=32 | *Se*=79,4 | *Te*=128? | |
| | *F*=19 | *Cl*=35,5 | *Br*=80 | *J*=127 | |
| *Li*=7 | *Na*=23 | *K*=39 | *Rb*=85,4 | *Cs*=133 | *Tl*=204 |
| | | *Ca*=40 | *Sr*=87,6 | *Ba*=137 | *Pb*=207 |
| | | ?=45 | *Ce*=92 | | |
| | | ?*Er*=56 | *La*=94 | | |
| | | ?*Jt*=60 | *Di*=95 | | |
| | | ?*Jn*=75,6 | *Th*=118? | | |

*Д. Менделѣевъ.*

[1]) Копія листа, разосланнаго русскимъ химикамъ въ началѣ 1869 г.

Вотъ эта то вѣра въ естественность системы и отличаетъ созданіе Менделѣева отъ его послѣдователей и современниковъ.

Таблица безъ комментаріевъ была разослана въ началѣ 1869 года нѣкоторымъ химикамъ на отдѣльномъ листкѣ подъ заглавіемъ: „О соотношеніи свойствъ съ атомнымъ вѣсомъ элементовъ", а въ мартѣ того-же года авторъ доложилъ Русскому химическому обществу работу „О соотношеніи свойствъ съ атомнымъ вѣсомъ элементовъ". Выводы этой работы таковы: 1) „Элементы, расположенные по величинѣ ихъ атомнаго вѣса, представляютъ явную періодичность свойствъ. 2) Сходственные по химическимъ отправленіямъ элементы представляютъ или близкіе атомные вѣса (*Pt*, *Jr*, *Os*), или послѣдовательно и однообразно увеличиваются (*K*, *Rb*, *Cs*). 3) Сопоставленіе элементовъ или ихъ группъ по величинѣ атомнаго вѣса соотвѣтствуетъ такъ называемой атомности ихъ. 4) Распространеннѣйшія въ природѣ простыя тѣла имѣютъ малый атомный вѣсъ, а всѣ элементы съ малыми атомными вѣсами характеризуются рѣзкостью свойствъ. Они поэтому суть типическіе элементы. 5) Величина атомнаго вѣса опредѣляетъ характеръ элемента. 6) Должно ждать открытія еще многихъ простыхъ тѣлъ, напр. сходныхъ съ *Al* и *Si* элементовъ съ паемъ 65—70. 7) Величина атомнаго вѣса должна быть исправлена, зная его аналоги. Такъ пай *Te* долженъ быть не 128, а 123—126. 8) Нѣкоторыя аналогіи элементовъ открываются по величинѣ ихъ атомнаго вѣса. Такимъ образомъ лишь второй и пожалуй первый (у Нюлэндса) выводы были извѣстны и раньше. Новыми же совершенно являлись взгляды третій - сравненіе не случайныхъ признаковъ, но основного—формъ соединеній и сознаніе, что открытъ законъ природы, что имъ можно провѣрять величины, послужившія орудіемъ для самого открытія, т. е. атомныя вѣса, и предсказывать новые элементы.

Но выраженіе закона было несовершенно, слѣдовало измѣнить расположеніе таблицы, выяснить вопросъ, какую изъ атомностей (валентность) нужно положить въ основу классификаціи (по кислороду, хлору или водороду), и яснѣе опредѣлить числовыя соотношенія и свойство предсказанныхъ элементовъ.

Эта работа была сдѣлана въ теченіе 1870 - 1872 года, причемъ одновременно форму таблицы разрабатывалъ и Лотаръ Мейеръ, которому лица, видящія въ періодической системѣ лишь

внѣшнюю классификацію приписывають открытіе Менделѣевскаго закона. На самомъ дѣлѣ первая таблица Л. Мейера, хотя и сходна съ таблицей Менделѣева, но заключаетъ лишь половину извѣстныхъ въ то время элементовъ, причемъ у него въ одну группу попадаютъ *C*, *Si*, *Sn*, *Pb*, *Mn*, *Fe*, *Ru*, *Pt* и т. п. Въ 1868 году имъ дана таблица болѣе полная, но принципъ распредѣленія совсѣмъ не ясенъ, и *Te* попадаетъ напр. въ группу щелочныхъ элементовъ.

Только въ 1870 году Лотаръ Мейеръ, познакомившись съ первой таблицей и рефератомъ работы Менделѣева, даетъ таблицу уже довольно совершенную въ смыслѣ распредѣленія элементовъ по группамъ, но видитъ въ ней лишь интересное сопоставленіе и относительно Менделѣевскаго вывода, что слѣдуетъ исправить нѣкоторые атомные вѣса писалъ: „было-бы поспѣшно измѣнять до нынѣ принятые атомные вѣса на основаніи столь непрочнаго исходнаго пункта [1])". Эта фраза показываетъ, что Лотара Мейера считать создателемъ періодическаго закона нельзя, но въ выработкѣ формы таблицы нѣкоторое значеніе его вѣроятно.

Въ теченіе 1869—1871 г. Менделѣевъ разрабатывалъ законъ, имъ открытый, и въ 1871 году далъ окончательное выраженіе его въ видѣ двухъ таблицъ, одной расположенной по группамъ, другой—по періодамъ. Можетъ казаться нѣсколько страннымъ, что для выраженія одного закона понадобились двѣ таблицы, но причина заключается въ томъ, что въ Менделѣевскомъ законѣ сливаются два начала: 1) періодическая зависимость свойствъ отъ атомнаго вѣса - функція непрерывная, 2) индивидуальность элементовъ и сходство образующихъ каждую изъ естественныхъ группъ - функціи прерывистыя. Для второго начала нужна таблица прерывистая, подобная Менделѣевской; для перваго —графическое изображеніе, подобное кривой атомныхъ объемовъ Л. Мейера. Но лишь таблица можетъ выразить сущность закона, а зависимость свойствъ есть второстепенное явленіе. Поэтому я и не буду говорить о многочисленныхъ попыткахъ найти графическое или математическое выраженіе Менделѣевской таблицы.

---

[1]) Lieb. Ann. 1870. Erg. Bd. S. 364 „Es würde voreilig sein, auf so unsichere Anhaltspunkte in eine Aenderunge der bisher angenommenen Atomgewichte vorzunehmen".

Причина и вмѣстѣ съ тѣмъ неудача этихъ попытокъ заключается въ желанiи сочетать несочетаемое. Двѣ таблицы Дм. Ив. даны потому, что таблица по перiодамъ выражаетъ собственно перiодическую зависимость, такъ какъ въ ней сходство элементовъ наиболѣе ясно. Начиная отъ *Li* черезъ семь (теперь послѣ открытiя аргона черезъ 8) элементовъ, мы встрѣчаемъ *Na*. Онъ повторяетъ, но не вполнѣ, свойства литiя, который, какъ и всѣ остальные легчайшiе элементы, нѣсколько отличался отъ своихъ аналоговъ [1]). Отъ *Na* черезъ семь (теперь 8) *Ka*, повторяющiй не вполнѣ свойства *Na*; а послѣ калiя на восьмомъ мѣстѣ оказываются металлы группы желѣза съ переходными свойствами къ мѣди. Восьмой же отъ мѣди *Rb* вполнѣ повторяетъ свойства *K*.

Вотъ это полное и неполное повторенiе свойствъ и выражаетъ таблица по перiодамъ, потому что въ ней наиболѣе сходные элементы стоятъ рядомъ, а нѣсколько различающiеся (*Ca*, *Sr*, *Ba*) и (*Zn*, *Cd*, *Hg*) отдѣлены. Каждая половина строки, соотвѣтствуетъ т. н. малому перiоду. Два малыхъ перiода съ переходными элементами восьмой группы составляютъ большой перiодъ.

Но эта таблица неудобна для запоминанiя, на ней мало ясны естественныя группы, и въ настоящее время, съ открытiемъ нулевой группы, переходнымъ элементамъ послѣдней приходится стоять сбоку. Поэтому Менделѣевъ и далъ таблицу по группамъ и по рядамъ, подраздѣливъ послѣднiе на четные и нечетные. Элементы четныхъ и нечетныхъ рядовъ, стоящихъ въ одной группѣ, похожи въ главномъ, но различаются въ нѣкоторыхъ свойствахъ.

Что касается самаго закона, то я не буду подробно останавливаться на всѣхъ правильностяхъ, вытекающихъ изъ него, потому что онѣ подробно разобраны въ „Основахъ химiи". Главное отличiе Менделѣевской таблицы отъ прежде бывшихъ состоитъ въ томъ, что она есть законъ природы и формулировка ея такова:

---

[1]) Причина повидимому въ томъ, что измѣненiя атомнаго вѣса при его малости сказываются очень рѣзко. Менделѣевъ назвалъ этотъ рядъ типичнымъ, но названiе это безусловно неудачно.

„Если всѣ элементы расположить по величинѣ атомнаго вѣса, то получится періодическое повтореніе свойствъ".

Основнымъ для сравненія Дм. Ив. выбралъ форму наивысшаго солеобразующаго кислороднаго соединенія. Такимъ образомъ онъ сравнивалъ свойство химическое, т. е. зависящее отъ самой природы атомовъ и наименѣе поддающееся случайнымъ воздѣйствіямъ [1]), кромѣ того формы кислородныхъ окисловъ наиболѣе разнообразны.

Сопоставленіе формъ окисловъ указало, что элементы должны быть распредѣлены въ восьми группахъ, что нѣкоторыя должны быть помѣщены не тамъ, куда приходились на основаніи атомныхъ вѣсовъ и что, наконецъ, нѣкоторые должны быть какъ бы сдвинуты и вмѣсто одного нужно поставить по нѣсколько элементовъ. Въ таблицѣ Л. Мейера 1870 года группы: *Mn, Fe, Ni, Ru, Rh, Pd, Os. Jr, Pt* совершенно непонятны. У Менделѣева ясно. Переходъ отъ $R_2 O_7$ къ $R_2 O$ можетъ совершиться или скачкомъ (случай между *Cl* и *K* въ 1871 году), или послѣдовательнымъ уменьшеніемъ формы окисла ($R_2 O_8$, $R_2 O_6$, $R_2 O_4$, $R_2 O_2$ напр.: $Mn_2 O_7$, $Ru_2 O_8$, $Pd_2 O_4$, $Ag_2 O_2$). Менделѣевъ, создавая законъ, не могъ знать, что и въ первомъ случаѣ не будетъ непосредственнаго скачка, а функція перейдетъ черезъ нуль. Это стало ясно лишь въ 1900 году, когда В. Рамзай открылъ и изслѣдовалъ рѣдкіе газы (*He, Ne, Ar, Kr, Xe*) и когда оказалось, что хотя для нихъ Менделѣевъ и не приготовилъ мѣста въ своей системѣ, но оно имѣется впереди щелочныхъ металловъ.

Изъ сопоставленія формъ окисловъ [2]) съ группами системы ясно, что промежуточныхъ элементовъ между двумя группами быть не можетъ. Могутъ быть формы $R_2 O$, $R_2 O_2$, $R_2 O_3$ и т. д., но съ кратными коэффиціентами согласно закону Дальтона невозможны, такъ что система опредѣляетъ **число возможныхъ элементовъ**. Мало того, она показываетъ, что если мѣсто занято какимъ либо элементомъ, то другой, близкій по атомному вѣсу, можетъ быть поставленъ лишь въ сосѣднія группы. Въ

---

[1]) Удѣльный объемъ и другія физическія свойства зависятъ отъ случайностей, напр. проковки сжатія, и т. п.

[2]) А это можно наблюдать и для хлористыхъ, сульфо-водородистыхъ, металлоорганическихъ соединеній.

первоначальной таблицѣ Менделѣева какъ разъ были такіе случаи, напр. индій считали двухэквивалентнымъ элементомъ, и тогда онъ попадалъ на мѣсто цинка или стронція. Чтобы помѣстить его въ систему, Менделѣевъ предложилъ считать его трехэквивалентнымъ съ атомнымъ вѣсомъ 113, и позднѣйшія изслѣдованія Бунзена и Менделѣева подтвердили это. Такъ же атомный вѣсъ урана считали равнымъ 120, и тогда оказывалось совершенно неподходящее мѣсто на мѣстѣ теперешняго *Jn*. Пришлось согласно системѣ удвоить его атомный вѣсъ.

Въ группѣ благородныхъ металловъ атомные вѣса *Os*=199, *Jr* = 198, *Pt* = 197,4, *Au* = 197 шли уменьшаясь, но Менделѣевъ, основываясь на химическихъ свойствахъ, помѣстилъ ихъ въ обратномъ порядкѣ, и послѣдующія опредѣленія оправдали его заключеніе.

Наконецъ, самымъ интереснымъ было то, что въ системѣ были пустыя мѣста, и Дм. Ив. не поколебался сказать, что это мѣста еще не открытыхъ, но существующихъ элементовъ; что эти элементы обладаютъ извѣстными свойствами, и что свойства эти среднія между свойствами сосѣднихъ, извѣстныхъ уже элементовъ. Предсказывать свойства неизвѣстныхъ элементовъ было шагомъ чрезвычайно смѣлымъ, но еще меньше было надежды на то, что предположеніе можно провѣрить. Однако черезъ четыре года послѣ предсказанія Лекокъ де-Буабодранъ открылъ при спектроскопическихъ изслѣдованіяхъ въ Пиренейской обманкѣ новый элементъ и выдѣлилъ нѣсколько сантиграммовъ его. Лекоку де-Буабодрану удалось опредѣлить весьма немного свойствъ новаго металла—галлія, но и на основаніи ихъ Менделѣевъ указалъ, что этотъ металлъ соотвѣтствуетъ предсказанному имъ эка-алюминію, но что Л. де-Буабодранъ невѣрно опредѣлилъ его плотность, которая должна быть не 4,7, а 6,0. Л. Де-Буабодранъ провѣрилъ опредѣленіе и, очистивъ лучше галлій, получилъ плотность равную 5,9.

Такъ же Менделѣевъ предсказалъ свойства элемента экасилиція [1]), стоящаго между *Zn* и *As*, *Si* и *Sn*. Въ 1886 году Клеменсъ Винклеръ во Фрейбергѣ открылъ этотъ элементъ въ

[1]) Эка по санскристки первый. Въ системѣ по періодамъ элементы наиболѣе сходные стоятъ въ горизонтальныхъ строкахъ рядомъ другъ съ другомъ и тамъ экасилицій первый послѣ кремнія (silicium)—элементъ.

особомъ серебро-содержащемъ минералѣ—аргиродитѣ $Ag_6\ Ge\ S_5$. Первое изслѣдованіе было, конечно, неполно и возбудило споръ о мѣстѣ элемента [1]) въ системѣ. Но когда Кл. Винклеръ провелъ полнѣе изслѣдованіе, то оказалось полное совпаденіе найденныхъ имъ свойствъ и предсказаній Менделѣева, сдѣланныхъ 15 лѣтъ тому назадъ. Привожу табличку, гдѣ сопоставлены тѣ и другія цифры:

| | Свойства экасилиція, предсказанныя Менделѣевымъ 1871 г. | Свойства германія, найденныя Кл. Винклеромъ 1886—1890 г. |
|---|---|---|
| Атомный вѣсъ . . . . . . . . . . | 72 | 72,32 |
| Удѣльный вѣсъ . . . . . . . . . . | 5,5 | 5,47 |
| Атомный объемъ . . . . . . . . | 13 | 13,22 |
| Валентность . . . . . . . . . . | 4 | 4 |
| Теплоемкость . . . . . . . . . . | 0,073 | 0,076 |
| Удѣльный вѣсъ окиси $R_2\ O_4$ . . . . | 4,7 | 4,703 |
| Молекулярный объемъ окиси $R_2\ O_4$ | 22 | 22,16 |
| Точка кипѣнія четырехъ-хлористаго соединенія . . . . . . . . . | ниже 100° | 86° |
| Удѣльный вѣсъ четырехъ-хлористаго соединенія . . . . . . . . . | 1,9 | 1,887 |
| Молекулярный объемъ четырехъ-хлористаго соединенія . . . . | 113 | 113,35 |

Только въ одномъ ошибся Менделѣевъ: по аналогіи съ титаномъ онъ предполагалъ, что экасилицій будетъ трудно летучъ

[1]) Въ спорѣ участвовали Менделѣевъ, Рихтеръ и Л. Мейеръ.

и плавокъ, между тѣмъ какъ нахожденіе между его *Zn* и *As* указывало на сравнительно легкую летучесть, которая и оказалась на опытѣ.

Такъ-же блестяще оправдались предсказанія Менделѣева для экабора, открытаго и описаннаго Нильсономъ въ 1871 г. подъ названіемъ скандія.

Однако далеко не все еще разъяснилось въ системѣ, какъ можно было ожидать, и есть нѣкоторыя аномаліи, которыя подавали поводъ къ значительнымъ нападкамъ. Такъ еще въ 1871 г. Менделѣевъ указалъ, что атомный вѣсъ теллура, аналога сѣры и селена, долженъ быть меньше, чѣмъ у іода, а наблюдается большій. Съ тѣхъ поръ цѣлый рядъ изслѣдователей занимался этимъ вопросомъ; Браунеру удалось даже получить для теллура атомный вѣсъ меньше 127, но чѣмъ дальше, тѣмъ несомнѣннѣе, что Браунеръ ошибся, и что атомный вѣсъ теллура больше іода. И это не единственный случай. Такъ и атомные вѣса *Co* и *Ar* соотвѣтственно больше атомныхъ вѣсовъ *Ni* и *K*, тогда какъ по системѣ должны быть наоборотъ. Каждый годъ появляются новыя работы надъ этими вопросами, и неправильность подтверждается все болѣе и болѣе, что для многихъ представляетъ значительное затрудненіе къ признанію системы закономъ.

Но посмотримъ внимательнѣе на выводы закона. Расположивъ элементы по атомному вѣсу, Менделѣевъ замѣтилъ періодичность свойствъ, выбравъ изъ свойствъ форму высшихъ солеобразующихъ кислородныхъ соединеній, установилъ группы и не поколебался теллуръ поставить раньше іода. Что же есть первопричина періодичности, атомный вѣсъ или форма соединеній? Конечно, ни то, ни другое. Причина—сходство природы элементовъ, образующихъ естественныя группы. Мы ничего или почти ничего не знаемъ о природѣ атомовъ элементовъ, но Менделѣевскій законъ говоритъ намъ, что нѣкоторыя изъ нихъ сходны, и что сходство ихъ выражается или одинаковостью, или равномѣрнымъ измѣненіемъ нѣкоторыхъ свойствъ. Какое изъ этихъ свойствъ наиболѣе характерно? То, которое наименѣе зависитъ отъ окружающихъ условій. Менделѣевъ выбралъ два свойства, удовлетворяющія этому условію: атомный вѣсъ и форму высшихъ кислородныхъ отношеній.

Если же взять свойства физическія, какъ сдѣлалъ Л. Мейеръ, сравнившій удѣльные объемы, то точность опредѣленія

зависитъ отъ многихъ случайностей, и періодичность можетъ быть наблюдаема лишь въ самомъ грубомъ видѣ—ломаной прямой. Дѣленіе на группы и сходство элементовъ изъ этихъ кривыхъ уловить невозможно.

Вообще, сомнѣваться теперь, что Менделѣевскій законъ приложимъ ко всѣмъ безъ исключенія свойствамъ какъ физическимъ, такъ и химическимъ, —невозможно. Наоборотъ законъ этотъ служитъ для провѣрки, правильно ли сдѣланы опредѣленія, и несомнѣнно, что всѣ они окажутся совпадающими съ Менделѣевской системой, если сравнивать въ надлежащихъ условіяхъ [1]) и брать сравнимыя величины [2]). Многія изъ величинъ уже оказались соотвѣтствующими закону: такъ разлагаемость гидратовъ, нѣкоторыя реакціонныя способности [3]), устойчивость окисловъ, физіологическое дѣйствіе на организмъ [4]), коэффиціенты расширенія, температуры плавленія хлористыхъ соединеній, теплота образованія галоидныхъ соединеній и т. д.

Но какое бы изъ этихъ свойствъ мы не взяли, исключенія и неправильности всегда имѣются. Стоитъ сравнить нѣсколько такихъ неправильностей и окажется, что если одно изъ нихъ для даннаго элемента въ ряду или группѣ представляетъ minimum, то другое или minimum, или maximum. Они зависятъ отъ природы самаго элемента, т. е. отъ совершенно неизвѣстной намъ величины. И атомный вѣсъ и форма окисловъ суть ея слѣдствія и аномалія въ атомныхъ вѣсахъ кобальта и никкеля, теллура и іода есть слѣдствіе закона образованія самыхъ атомовъ элементовъ, такое же какъ напримѣръ низкая атомность, или слишкомъ высокая атомная электропроводность серебра или же слишкомъ низкій атомный объемъ марганца.

(*Продолженіе слѣдуетъ*).

---

[1]) Принимая во вниманіе температуры, давленія и кристаллическую систему и сравнивая при соотвѣтствующихъ температурахъ и давленіяхъ.

[2]) Авторъ показалъ, что надо сравнивать, напримѣръ, атомныя тепло-электропроводности, а не электропроводности на единицу объема; скорости же звука надо сравнивать на атомное протяженіе, корнь 3-ьей степени изъ атомн. объема; онъ же показалъ, что атомныя электропроводности при соотвѣтственныхъ температурахъ имѣютъ почти одинаковую величину для каждой группы Менделѣевской системы. См. Пр. Р. Х. О. Мартъ и Сентябрь 1907 г.

[3]) Напр. передача галоида въ металепсіи.

[4]) Ядовитость $HgCl_2$, и уменьшеніе ея въ ряду $CdCl_2$, $ZnCl_2$, $MgCl_2$.

# Постановка практическихъ занятій по физикѣ въ средне-учебныхъ заведеніяхъ Франціи.

## Г. Дельвалеза[1]).

### 1. Исторія реформы.

---

Послѣ всемірной Парижской выставки 1900 г., подъ вліяніемъ успѣховъ, достигнутыхъ въ Германіи и въ Америкѣ, и подъ давленіемъ общественнаго мнѣнія, требовавшаго не абстрактнаго преподаванія, а связаннаго съ реальною жизнью и пригоднаго для практическихъ приложеній, во Франціи совершилось важное измѣненіе въ способѣ преподаванія физики въ средне-учебныхъ заведеніяхъ. Это измѣненіе коснулось одновременно и программъ, и способовъ преподаванія.

По словамъ оффиціальной инструкціи къ закону 31 мая 1902 года прежде всего освѣжили программы, освободивъ ихъ отъ многаго того, что уже устарѣло и что помѣщалося въ курсы по традиціи: вышедшіе изъ употребленія аппараты, потерявшія значеніе теоріи, мало интересныя вычисленія.

Духъ новаго преподаванія опредѣлялся слѣдующими словами: „Цѣль состоитъ не въ томъ, чтобы изъ нашихъ учениковъ сдѣлать заправскихъ физиковъ, а въ томъ, чтобы ознакомить ихъ съ великими законами природы и чтобы сдѣлать ихъ способными дать себѣ отчетъ въ явленіяхъ, происходящихъ около нихъ. Въ виду этого, преподаваніе должно одновременно стоять на большой высотѣ и быть очень простымъ и очень практичнымъ. Избѣгая математическихъ выкладокъ, его слѣдуетъ основать на опытахъ, но для ихъ производства преподаватель долженъ употреблять наиболѣе простые и наиболѣе понятные приборы, отдавая преимущество сущности метода, а не техничес-

---

[1]) Редакція помѣщаетъ эту статью съ особымъ удовольствіемъ, такъ какъ проф. Дельвалезъ составилъ ее спеціально для читателей Физ. Обозрѣнія и обрисовалъ въ ней рядъ очень интересныхъ для насъ положеній.

кимъ подробностямъ, нужно широко пользоваться графическими построеніями не только для лучшей иллюстраціи хода даннаго явленія, но и для того, чтобы привить ученикамъ очень важныя идеи о функціяхъ и о непрерывности, и, наконецъ, нужно упражнять учениковъ въ вычисленіяхъ, но въ этомъ случаѣ примѣры должны быть взяты изъ міра реальнаго, чтобы ученики могли вычислить величины, характерныя для даннаго явленія, и дать себѣ отчетъ въ порядкѣ и точности наблюденныхъ величинъ и сдѣлать необходимыя поправки".

Такимъ образомъ, возбуждать вниманіе учениковъ, изощрять ихъ способность къ наблюденіямъ, научить ихъ при всякихъ обстоятельствахъ жизни наблюдать, размышлять и дѣйствовать, вотъ цѣль, къ которой слѣдуетъ стремиться.

Чтобы достигнуть ея, были предложены два средства:

1. Поставить учениковъ лицомъ къ лицу съ изучаемымъ явленіемъ; искать вмѣстѣ съ ними наилучшаго способа его изученія; изобрѣтать, вмѣстѣ съ ними и руководя ими, подходящій приборъ; приступить къ изученію разобраннаго явленія; выразить результаты съ достигнутою въ данномъ случаѣ точностью; использовать эти результаты.

2. Дать имъ случай во время практическихъ занятій примѣнить только что разработанный методъ.

Первая часть задачи, возложенной на преподавателей, была легко исполнима. Многіе изъ нихъ уже имѣли въ этомъ отношеніи опытъ и осуществили эту часть реформы преподаванія раньше. Но вторая часть была болѣе трудною и требовала творчества. Оффиціальныя инструкціи, сопровождавшія новыя программы, не фиксировали содержанія практическихъ упражненій и довольствовались лишь общими указаніями, въ родѣ такого: „Преподаватель долженъ подготовить практическія занятія также внимательно, какъ и классные уроки. Ему предоставляется самая широкая инициатива въ отношеніи выбора. Иногда преподаватель можетъ ограничиться тѣмъ, что заставитъ учениковъ продѣлать простыя качественныя наблюденія, но чаще онъ будетъ доводить дѣло до измѣренія, имѣя въ виду ту степень точности, которая должна соотвѣтствовать простой опытной обстановкѣ. Такъ напримѣръ, можно изучить законы колебанія маятника и измѣрить $g$ съ точностью до 1%, имѣя въ своемъ распоряженіи отвѣсъ, метровую линейку и секундные часы; по-

строить разновѣсь изъ металлической проволоки; опредѣлить плотность жидкости до 1% помощью флакона и обыкновенныхъ торговыхъ вѣсовъ; сдѣлать фотометрическое измѣреніе съ карандашемъ и листкомъ простой бумаги въ качествѣ фотометра; построить изъ мельхіора градуированныя сопротивленія и пользоваться ими при дальнѣйшихъ измѣреніяхъ сопротивленій"…. „При такихъ условіяхъ практическія занятія не потребуютъ цѣнныхъ затратъ или точныхъ приборовъ и составятъ тѣмъ не менѣе весьма полезное дополненіе къ классному преподаванію учителя".

Преподаватели мужественно взялись за новое дѣло и цѣною большихъ усилій мало-по-малу поставили значительный рядъ практическихъ занятій. Впрочемъ, скоро подоспѣла и внѣшняя помощь.

Въ рядѣ лекцій педагогическаго характера профессора высшихъ учебныхъ заведеній выяснили свои взгляды на задачи реформы; эти лекціи читались не только въ Парижѣ, но и во всѣхъ университетскихъ городахъ. А затѣмъ выказало свою иниціативу Французское Физическое Общество. Оно поручило своему генеральному секретарю Абрагаму собрать коллективное описаніе простыхъ установокъ и опытовъ для практическихъ упражненій, и на его призывъ откликнулось 175 преподавателей всѣхъ ранговъ. Но на этомъ оно не остановилось и въ 1905 году, во время Пасхальныхъ собраній, организовало въ Педагогическомъ музеѣ въ Парижѣ особую выставку приборовъ, которые различные преподаватели ввели у себя для практическихъ занятій. Эта выставка состоялась подъ покровительствомъ Жубера, генеральнаго инспектора по преподаванію физики, и имѣла выдающійся и рѣдкій успѣхъ. Болѣе 300 приборовъ были присланы сюда и функціонировали передъ посѣтителями. Для вящаго успѣха при каждомъ аппаратѣ было соотвѣтственное описаніе. Эта выставка доказала, что соединенными силами можно сдѣлать многое, и что усиліе отдѣльнаго человѣка не пропадаетъ даромъ. Отсюда возникла мысль о созданіи постоянной ассоціаціи, куда каждый членъ могъ-бы принести то, что у него есть лучшаго; гдѣ онъ могъ-бы разсказать, какъ онъ побѣдилъ ту или иную трудность; гдѣ онъ могъ-бы ставить вопросы касательно преподаванія вообще и практическихъ занятій въ частности.

Эта счастливая мысль была высказана Бюге, преподавателемъ въ г. Руанѣ; онъ отстаивалъ эту мысль уже давно въ своемъ журналѣ Элементарной Физики, но теперь она была сочувственно принята группою преподавателей, и такимъ образомъ было создано временное бюро Союза физиковъ „Union des physiciens". Окончательно онъ былъ образованъ 1 ноября 1906 года, и въ настоящее время союзъ насчитываетъ около 200 членовъ [1]). Связующимъ звеномъ между ними служитъ ежемѣсячный бюллетень. Союзъ постановилъ:

1. Учредить справочное бюро (office de renseignement), при посредствѣ котораго каждый членъ можетъ получать всевозможныя справки и указанія касательно курсовъ, опытовъ, аппаратовъ, книгъ, механиковъ, правительственныхъ распоряженій, суммъ и т. д. Отвѣты на эти вопросы появляются въ Бюллетенѣ.

2. Печатать замѣтки объ интересныхъ приборахъ, фигурировавшихъ на выставкахъ Педагогическаго музея.

3. Печатать общія статьи относительно манипуляцій, новыхъ аппаратовъ и отдѣльныхъ наиболѣе важныхъ вопросовъ изъ курса.

4. Изучать методически современные аппараты, служащіе для цѣлей преподаванія, съ точки зрѣнія новыхъ къ нимъ требованій.

5. Организовать при Педагогическимъ музеѣ время отъ времени выставки приборовъ для практическихъ занятій, построенныхъ преподавателями.

Укажемъ, что рядомъ съ журналомъ Элементарной Физики и Бюллетенемъ создано еще нѣсколько новыхъ журналовъ для той-же цѣли: La Science au XX siècle подъ редакторствомъ Маневріе и la Revue de l'enseignement des sciences подъ руководствомъ группы преподавателей. Наконецъ, въ послѣдніе годы появилось 9 учебниковъ, согласованныхъ съ новыми программами 1902 г. Я отмѣчу лишь тѣ, которые приняты наиболѣе благосклонно, а именно: Lemoine et Vincent, Faivre-Dupaigre et Carimey и Chassagny. Наконецъ, для полноты прибавимъ еще курсъ практическихъ упражненій Морена [2]).

---

[1]) Годичный взносъ 3 франка; секретаремъ состоитъ Lemoine. 46. Boulevard Port-Royal, Paris.

[2]) См. отзывъ въ Физическомъ Обозрѣніи за 1907 г. на стр. 169.

Все это можетъ дать понятіе о важности современнаго движенія во Франціи для обновленія преподаванія наукъ вообще и физики въ частности.

### II. Техническія разъясненія реформы [1]).

Программы. Преподаваніе физики, какъ и всѣхъ остальныхъ предметовъ, раздѣлено на два цикла. Въ первомъ оно предназначается для учениковъ классовъ 4 *B* и 3 *B*, имѣющихъ около 13 и 14 лѣтъ. Этотъ циклъ очень элементаренъ и обнимаетъ: тяжесть, равновѣсіе жидкостей и газовъ и теплоту въ классѣ 4 *B*; акустику, оптику и электричество въ классѣ 3 *B*. На это отводится по одному часу въ недѣлю въ каждомъ классѣ, считая 40 учебныхъ недѣль въ году. Такой циклъ предназначенъ для учениковъ, рано оставляющихъ лицей, и онъ не сопровождается никакими практическими упражненіями.

Второй циклъ начинается съ класса seconde съ учениками 14—15-лѣтняго возраста. Ученики отдѣленія *C* проходятъ латинскій языкъ и науки, а отдѣленія *D*—науки и новые языки. Въ этихъ двухъ отдѣленіяхъ отводится по 5-ти недѣльныхъ часовъ: на физику (3 ч.) и химію (2 ч.); изъ этого времени по 1 часу удѣляется на практическія занятія физики и химіи.

Программа физики здѣсь слѣдующая: общіе вопросы, понятія изъ механики, тяжесть, равновѣсіе жидкостей, теплота.

Изъ этихъ классовъ ученики переводятся въ классы première, 1 *C* и 1 *D*, гдѣ физикѣ отдается то-же время и распредѣляется оно тѣмъ-же способомъ. Программа здѣсь состоитъ изъ оптики и электричества. По окончаніи этого класса, ученики держатъ экзаменъ изъ первой части на званіе баккалавра: экзаменъ состоитъ изъ латинскаго языка и наукъ или изъ наукъ и новыхъ языковъ и происходитъ въ университетѣ.

---

[1]) Для ясности нужно сказать, что въ первомъ циклѣ (младшемъ) четыре класса: sixième, cinquième, quatrième, troisième, а во второмъ (старшемъ) три класса: seconde, première и philosophie или mathématiques. Кромѣ того, классы имѣютъ еще параллельное обозначеніе: *A* (классики) и *B* (реалисты) въ первомъ циклѣ и *A*, *B*, *C*, *D*,—во второмъ. Во второмъ циклѣ *A* соотвѣтствуетъ классическому отдѣленію съ обоими древними языками; *B*—отдѣленію съ латинскимъ и новыми языками; *C*—отдѣленію съ латинскимъ языкомъ и естествознаніемъ; *D*—отдѣленію съ новыми языками и естествознаніемъ.

Съ этого момента ученики одного и того-же класса раздѣляются по разнымъ дорогамъ. Одни изъ нихъ вступаютъ въ философскій классъ и встрѣчаютъ здѣсь своихъ прежнихъ товарищей отдѣленій *A* (съ латинскимъ и греческимъ) и отдѣленій *B* (съ латинскимъ и новыми языками), это будущіе медики: въ этомъ классѣ нѣтъ практическихъ занятій. Другіе, стремясь къ дальнѣйшему изученію наукъ, поступаютъ въ классъ mathématiques, въ которомъ физикѣ отведено 5 часовъ въ недѣлю на классное преподаваніе и 2 часа въ недѣлю на практическія упражненія. Здѣсь изучаютъ: паденіе тѣлъ, круговое равномѣрное движеніе, маятникъ, работу, равновѣсіе тѣлъ, единицы, волнообразное движеніе, періодическія явленія въ акустикѣ, оптикѣ и электричествѣ.

Чтобы дать понятіе объ объемѣ и духѣ преподаванія въ этомъ классѣ, мы приведемъ перечень по оффиціальной программѣ: Періодическія явленія въ акустикѣ, оптикѣ и электричествѣ. Звукъ есть колебательное движеніе. Фонографъ. Скорость звука. Музыкальные звуки. Физіологическія качества звука и ихъ физическое толкованіе. Высота звука. Вліяніе относительнаго движенія источника звука и наблюдателя. Интервалы. Колебаніе струнъ. Гармоническіе тоны. Резонаторы. Органныя трубы. Тембръ. Разложеніе какого угодно періодическаго движенія на гармоническія колебанія.

Гипотезы свѣтовыхъ колебаній. Періодъ. Существованіе явленія диффракціи. Монохроматическій свѣтъ. Спектръ. Изученіе инфра-красной и ультра-фіолетовой его частей. Фосфоресценція и флуоресценція. Существованіе двойного лучепреломленія и поляризаціи.

Элементарныя свѣдѣнія о перемѣнныхъ токахъ. Трансформаторы. Индуктивныя катушки. Разряды въ газахъ. Катодные лучи. X—лучи.—Электрическія колебанія. Распространеніе электрическихъ волнъ. Безпроволочный телеграфъ. Тождество свѣтовыхъ и электрическихъ колебаній.

По окончаніи этого курса ученики приступаютъ ко второй части экзамена на званіе баккалавра математики, который они держатъ также при университетѣ. Испытанія происходятъ въ предѣлахъ программъ даннаго класса и состоятъ изъ одного вопроса и одной задачи по физикѣ или химіи. Вслѣдствіе этого ученики трехъ послѣднихъ классовъ еженедѣльно упражняются

въ рѣшеніи задачъ. Тѣ ученики, которые послѣ этого остаются еще у насъ поступаютъ потомъ въ приготовительные классы училищъ: Сентъ-Сиръ, Центральнаго, Политехническаго или Высшей нормальной школы. Программа, изучаемая будущими пѣхотными или кавалерійскими офицерами, съ 1902 г. та-же, что и для класса математики.

Практическія занятія. Какъ уже было раньше сказано для практическихъ занятій нѣтъ оффиціальной программы; поэтому преподаватель съ самаго начала долженъ былъ самъ выбрать соотвѣтственное упражненіе и организовать его въ лицеѣ на свой рискъ. Если опытъ показывалъ, что выборъ былъ сдѣланъ удачно, то соотвѣтственные приборы размножались, причемъ всегда соблюдалась крайняя экономія.

Число учениковъ даннаго класса въ большомъ лицеѣ колеблется отъ 40 до 50, поэтому нечего и думать объ одновременной работѣ цѣлаго класса. Ученики дѣлятся на двѣ группы, работающія поочередно въ разные часы. Въ среднемъ преподавателю приходится руководить 20 учениками Чаще всего это число разбивается на подгруппы въ 4 человѣка, и каждая подгруппа продѣлываетъ такое-же упражненіе, какъ и сосѣдняя. Стало быть, каждое упражненіе налажено въ количествѣ 5 экземпляровъ. Во многихъ лицеяхъ можно найти спеціальныя лабораторіи; тамъ, гдѣ этого нѣтъ, ученики работаютъ въ классѣ за преподавательскимъ столомъ и на особыхъ столикахъ, которые для этого нарочно устанавливаются въ классѣ.

Время практическаго упражненія тратится слѣдующимъ образомъ: сначала ученикамъ формулируется задача; затѣмъ, чтобы пріучить ихъ къ экспериментированію, преподаватель спрашиваетъ ихъ, какъ они думаютъ наладить соотвѣтственный опытъ, и мало-по-малу наводитъ ихъ. Въ это время ученики дѣлаютъ свои замѣчанія и задаютъ вопросы. Только послѣ этого ученики приступаютъ къ манипуляціямъ, продолжающимся 30—35 минутъ. Остатокъ времени отводится на вычисленіе результата. Преподаватель при этомъ опять начинаетъ руководить ими и обсуждаетъ съ ними полученные результаты. Дома, въ свободное время, ученикъ уже обстоятельно описываетъ все упражненіе въ особой тетради, а преподаватель время отъ времени ее просматриваетъ. Чаще всего эти записи дѣлаются вполнѣ удовлетворительно; вообще, всѣ ученики безъ исключенія ра-

ботаютъ съ большимъ удовольствіемъ и около половины учениковъ ведутъ очень точные протоколы наблюденій, хотя это не имѣетъ никакого значенія ни для экзаменовъ, ни для полученія наградъ.

Выборъ практическихъ упражненій. Темы для практическихъ упражненій видоизмѣняются въ зависимости отъ личнаго вкуса преподавателя. Слѣдующій списокъ составленъ мною лично, хотя онъ не многимъ отличается отъ подобныхъ списковъ, составленныхъ другими преподавателями физики.

Второй классъ *C* и *D* (Classe de seconde).

1. Измѣрить гипотенузу и стороны наугольника, убѣдившись сначала въ томъ, что уголъ прямой. Провѣрить теорему. 2. Изучить деформацію проволочной пружины или каучуковой трубки при растяженіи грузами. Построить кривыя, выражающія это явленіе. 3. Сложеніе силъ, приложенныхъ къ одной точкѣ, и силъ параллельныхъ. 4. Простыя машины. 5. Центръ тяжести. 6. Вѣсы. 7. Взвѣшиваніе однородныхъ поверхностей одинаковой толщины, имѣющихъ простыя геометрическія очертанія. Пальмеръ. Ноніусъ. 8. Калибрированіе по взвѣшиванію. 9. Сосудъ съ отливомъ; плотность твердыхъ тѣлъ. Этотъ сосудъ я устроилъ слѣдующимъ образомъ: на стѣнкѣ любого сосуда я устанавливаю сифонъ, короткое колѣно котораго, отъ 3 до 4 см., находится снаружи. Когда сосудъ наполненъ до верху водою, я заряжаю сифонъ и вѣшаю его на стѣнку сосуда; тотчасъ начинается истеченіе, но оно скоро останавливается, а сифонъ остается заряженнымъ. Такимъ образомъ всякій сосудъ легко превращается въ сосудъ съ отливомъ. 10. Сосудъ съ отливомъ, плотность жидкостей. 11. Основной законъ гидростатики. Ламповое стекло снизу закрывается парафинированною пробкою и нагружается дробью, также парафинированною для неподвижности; внутри стекла наклеена шкала въ см. Такой сосудъ погружаютъ въ воду и наблюдаютъ высоту погруженія. Послѣ этого его вновь нагружаютъ и дѣлаютъ новое наблюденіе по шкалѣ. Изъ ряда подобныхъ наблюденій нужно построить кривую давленій на дно сосуда. 12. Равновѣсіе жидкостей въ сообщающихся сосудахъ. Два вертикальныхъ цилиндра высотою въ 30 см. наполнены 2 различными жидкостями и въ каждый цилиндръ погружена открытая трубка. Верхніе концы обѣихъ

трубокъ соединяютъ каучуковою трубкою, всю систему поднимаютъ кверху и наблюдаютъ рядъ соотвѣтственныхъ высотъ. 13. Атмосферное давленіе. Опытъ Торричелли. 14. Ртутный и водяной манометры. 15. Законъ Архимеда въ случаѣ жидкостей. Провѣрка его при помощи сосуда съ отливомъ. Давленіе тѣла на жидкость. 16. Плотность твердыхъ и жидкихъ тѣлъ на основаніи закона Архимеда. 16. Плаваніе тѣлъ. Изученіе его при помощи сосуда съ отливомъ. 18. Плотность твердыхъ и жидкихъ тѣлъ по давленію тѣла на жидкость. 19. Построеніе ареометра съ постояннымъ вѣсомъ для жидкостей болѣе плотныхъ, чѣмъ вода; стеклянная оболочка ученику выдается. 20. Капиллярность. Капиллярныя трубки; мениски; мыльные пузыри. 21. Калибрированіе трубки ртутью; изученіе ея сѣченія въ различныхъ мѣстахъ. 22. Наполненіе шарика термометрической трубки спиртомъ. 23. Градуировка предыдущаго термометра. Смѣщеніе нуля у ртутнаго термометра. 24. Изученіе ошибокъ при калориметрическихъ работахъ; вліяніе лучеспусканія, теплопроводности; построеніе кривыхъ. 25. Удѣльная теплота металла по способу смѣшенія. 26. Коэффиціентъ расширенія металла. Металлъ имѣетъ форму трубки въ 55 см. длины и въ 1 см. въ діаметрѣ; одинъ конецъ трубки неподвиженъ, а на другой надѣта пробка съ иглою; вслѣдствіе расширенія трубки игла перемѣщается и вращаетъ соломенку, укрѣпленную на особой подставкѣ. Предварительно устанавливается пропорціональная зависимость между вращеніемъ соломенки и коэффиціентомъ расширенія. Источникомъ тепла служитъ паръ кипящей воды. Этотъ приборъ даетъ возможность легко вычислить любой коэффиціентъ расширенія; я его построилъ еще до реформы 1902 г. и съ успѣхомъ пользуюсь имъ уже болѣе 5 лѣтъ. 27. Построить кривую расширенія спирта по табличнымъ даннымъ. 28. Законъ Маріотта; расширеніе газа при постоянномъ объемѣ. 29. Законы плавленія. 30. Скрытая теплота льда. 31. Насыщенные пары. Построить по табличнымъ даннымъ изотерму угольной кислоты. 32. Скрытая теплота водяного пара. 33. Франкціонированная перегонка. 34. Гигрометрія. 35. Лучеиспусканіе. Приборъ употребляется тотъ-же, что и въ № 26; для рѣшенія этой задачи нужно остановить притокъ пара и составить рядъ наблюденій по показаніямъ стрѣлки въ функціи времени. Если поверхность одной трубки оставить въ ея естественномъ состо-

яніи, а поверхность другой покрыть слоемъ сажи, то легко убѣдиться, что черное тѣло охлаждается быстрѣе. 36. Теплопроводность; относительная теплопроизводность мѣди и желѣза.

Первый классъ (Classe de première).

1. Тѣнь и полутѣнь. 2. Фотометрія; вліяніе разстоянія. 3. Фотометрія; законъ косинуса; измѣреніе яркости. 4. Законъ отраженія; изображеніе предмета въ плоскомъ зеркалѣ. 5. Мнимое изображеніе въ плоскомъ зеркалѣ; зеркала подъ угломъ. 6. Сферическія вогнутыя зеркала; предметы и изображенія дѣйствительные. 7 Сферическія зеркала вогнутыя и выпуклыя; предметы и изображенія мнимые. 8. Законъ преломленія. Проложить путь луча, прошедшаго черезъ ребро стекляннаго куба, внутри куба и снаружи. Сдѣлать три-четыре измѣренія для различныхъ лучей и вывести законы. 9. Плоскопараллельныя пластинки. 10. Призмы. 11. Линзы собирательныя; предметы и изображенія дѣйствительные. 12. Линзы: дѣйствительныя изображенія отъ мнимыхъ предметовъ. 13. Свойства составныхъ линзъ. 14. Экспериментальное изслѣдованіе глаза. 15. Изслѣдованіе лупы, ея увеличеніе. 16. Построить астрономическую трубу и трубу Галилея. 17. Спектроскопическія наблюденія. 18. Магнитизмъ, силовое поле; силовыя линіи. 19. Сравненіе магнитнаго поля съ земнымъ полемъ. Для этого выгодно построить шкалу тангенсовъ и въ центрѣ помѣстить маленькую магнитную стрѣлку, а затѣмъ оріентировать изучаемое поле прямого или подковообразнаго магнита такъ, чтобы оно было перпендикулярно къ земному полю, и наблюдать направленіе результирующаго поля. Отсюда легко опредѣлить требуемое отношеніе. Качественное изученіе проницаемости желѣза. 20. Сила тока. Электрохимическая его мѣра. Качественное изученіе дѣйствія прямолинейнаго тока на намагниченную стрѣлку. 21. Поле кругового тока. Сравнить его величину съ величиною земного поля. Токъ сначала въ 1, а потомъ въ 2 ампера проходитъ черезъ 10 оборотовъ проволоки, смотанной въ кругъ 10-ти см. въ діаметрѣ. Найти на нормали къ этому контуру такую точку, въ которой поле контура равно половинѣ земного и въ которой оно равно ему цѣликомъ. Показать, что съ удваиваніемъ силы тока, удваиваивается поле контура въ тѣхъ-же точкахъ. 22. Сопротивленіе. На доскѣ въ 1 метръ длиною и въ $^1/_4$ метра шириною натянуты:

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | проволока | мѣдная | длиною | въ | 2,0 | метр. при | 0,2 м.м. | въ діам. |
| 1 | " | " | " | " | 12,5 | " | 0,5 | " |
| 1 | " | жел.-ник. | " | " | 0,66 | " | 0,5 | " |
| 1 | " | мельхіор. | " | " | 0,66 | " | 0,25 | " |
| 1 | " | мѣдная | " | " | 0,66 | " | 1,00 | " |

Найти сопротивленія эквивалентныя первому и вывести законъ сопротивленій. Вѣтвленіе токовъ. 23. Законъ Ома. Только что описанный аппаратъ служитъ реостатомъ. Построить кривую $^1/i$, когда внѣшнее сопротивленіе измѣняется. 24. Вольтметръ; измѣреніе напряженія на концахъ извѣстнаго сопротивленія. 25. Соединеніе элементовъ. Послѣдовательное и параллельное двухъ элементовъ со звонкомъ, при внѣшнемъ сопротивленіи равномъ нулю или 1 ому. Вывести отсюда напряженіе и внутреннее сопротивленіе; изучить элементъ въ отдѣльности и провѣрить результаты вычисленія вольтметромъ. 26. Измѣреніе сопротивленій мостикомъ Витстона. 27. Тепловыя дѣйствія тока; законъ Джауля. 28. Электролизъ. Покрыть мѣдью пластинку угля; снять съ нее осажденную мѣдь. Электролизъ подкисленной воды при помощи свинцовыхъ электродовъ. Напряженіе на полюсахъ въ этомъ случаѣ. Поляризація. 29. Элементъ Вольта; его недостатки. Показать, что его напряженіе не мѣняется, если мѣдь, входящая въ его составъ, окислена; но что мѣдь раскисляется, когда элементъ работаетъ, и напряженіе падаетъ вдругъ, когда появляются пузырьки. 30. Электромагнитизмъ. Законъ Лапласа; качественное его изученіе. 31. Машина Грамма; ея электродвижущая сила какъ функція скорости вращенія. Вольтажъ этой машины, когда она становится двигателемъ: въ покоѣ и во вращеніи. Эта задача дѣлается одною группою передъ цѣлымъ классомъ; машина магнито-электрическая. 32. Электростатика. Образованіе зарядовъ треніемъ. Индукція. Машины. 33. Электрическое равновѣсіе. Конденсаторы; изученіе лишь качественное.

Классъ математики (Classe de mathématiques).

1. Паденіе тѣлъ въ водѣ. Предѣльная скорость. Тѣло имѣетъ форму конуса изъ бѣлой жести, который бросаютъ въ болѣе широкій стеклянный цилиндръ. Конусъ можно нагрузить дробью или облегчить пробкою. 2. Паденіе тѣлъ въ воздухѣ. Предѣльная скорость. Тѣло имѣетъ форму квадрата изъ плот-

ной бумаги, снабженнаго 8 складками; его можно подгрузить бумажными-же квадратами. Это тѣло въ спокойномъ воздухѣ падаетъ вертикально. Построить графику между путемъ $e$ и временемъ $t$ и узнать, имѣетъ ли вліяніе на предѣльную скорость поверхность? 3. Изученіе движенія тѣла, вращающагося по наклонной плоскости. Построить графику $e$ и $t^2$; найти ускореніе этого движенія. Замѣчаніе: не нужно забывать, что тѣло вертится, а не движется поступательно, какъ въ случаѣ свободнаго паденія, поэтому $\gamma = \frac{5}{7} g \sin\alpha$, а не $\gamma = g \sin\alpha$. 4. Понятіе о массѣ; измѣнить наклонъ плоскости и построить графику между силою и ускореніемъ. 5. Графическое изученіе движенія. Я придумалъ и въ теченіе многихъ лѣтъ практикую слѣдующій пріемъ для графическаго нахожденія закона паденія тѣлъ. Я пускаю стальной шаръ 16 м.м. въ діаметрѣ вдоль диска, наклоненнаго подъ угломъ въ 80° къ горизонту, т. е. почти отвѣснаго; шаръ покрытъ сажею, а дискъ сдѣланъ изъ бѣлаго плотнаго картона въ 50 cm. въ діаметрѣ; дискъ вращается со скоростью 2 оборотовъ въ секунду. При паденіи шаръ оставляетъ слѣдъ, по которому легко вывести искомый законъ. Изученіе формы траекторіи брошеннаго тѣла. Тѣломъ служитъ стальной шарикъ, покрытый сажею; его выбрасываютъ при помощи пружины вдоль наклонной плоскости и изслѣдуютъ форму начерченой кривой. 6. Законы маятника. Вліяніе амплитуды массы и длины маятника. Я употребляю для этого слѣдующій пріемъ: маятникъ, приготовленный изъ стального автомобильнаго шара, подвѣшанъ на проволокѣ въ 40 см. длиною и колеблется, катаясь по наклонной плоскости. Въ мѣстѣ траекторіи маятника на наклонной плоскости подставлена стеклянная пластинка. Требуется опредѣлить продолжительность 10 колебаній и синусъ угла наклоненія; послѣдній можно измѣнять. Построить кривую $\frac{1}{t^2}$, $\sin\alpha$ и опредѣлить ея форму. Нужно помнить, что маятникъ катится и что $\gamma = \frac{5}{7} g \sin\alpha$. 7. Измѣреніе $g$. 8. Простой маятникъ синхронный съ даннымъ сложнымъ. Въ качествѣ послѣдняго я употребляю треугольникъ или обручъ. 9. Магнитный маятникъ. Онъ состоитъ изъ магнитной стрѣлки, подвѣшанной на шелковинкѣ. Изучить силу поля магнита по колебаніямъ и

примѣнить одновременно извѣстный уже способъ отклоненія. 10. Колебанія при крученіи. 11. Колебанія при растяженіи. Для этого служитъ проволочная пружина, на концѣ которой виситъ чашка съ разными грузами; нужно измѣрить время колебанія. 12. Свойства жидкостей. 1. Связь между $V$ и $P$ при постоянномъ $t$ для фазы газа. 2. Равновѣсіе фазъ жидкости и пара. 3. Критическая точка. 4. Снарядъ Калльете. 13. Преобразованіе механической энергіи. $1^0$. Тѣло опредѣленной массы падаетъ съ высоты $h$ и растягиваетъ проволочную пружину на нѣкоторую величину. Сравнить потраченную потенціальную энергію и произведенную деформацію; опредѣлить потерю энергіи. $2^0$. Маховое колесо, вращаясь около горизонтальной оси, навертываетъ гибкую нить съ подвязаннымъ на концѣ грузомъ. Опредѣлить законъ движенія; энергію въ концѣ пробѣга; кинетическую энергію маховика; высоту подъема груза. Продолжать наблюденіе и сравнить энергію въ началѣ и въ концѣ. 14. Провѣрка теоремы вѣсовъ. 15. Измѣренія съ пальмеромъ тѣлъ простой формы: шара, цилиндра, диска, прямоугольныхъ пластинокъ. Масса и плотность этихъ тѣлъ. 16. Магнитный потокъ. Изучить при помощи магнитнаго маятника его постоянство въ силовой трубкѣ. 17. Поле прямолинейнаго тока. Изучить его тѣмъ-же способомъ на разныхъ разстояніяхъ отъ вертикальнаго тока, не упуская изъ виду земного поля. 18. Поле кругового тока. Изучить его при помощи колебаній стрѣлки, помѣщенной на нормали къ центру плоскости тока, когда эта нормаль совпадаетъ съ земнымъ полемъ. 19. Та-же задача, но нормаль составляетъ $90^0$ съ земнымъ полемъ. 20. Скорость распространенія поперечныхъ колебаній натянутой струны. 21. Проложить при помощи воронки, наполненной пескомъ, слѣдъ движенія маятника. 22. Измѣрить длину волны $ut_3$, $la_3$ при помощи интерференціи. Настроить рядъ трубъ, чтобы образовалась гамма; измѣрить ихъ длину. Связь между длинами трубъ, издающихъ $ut_3$ и $la_3$, и длинами измѣренныхъ волнъ. 23. Хронографія свободнаго паденія. Я придумалъ слѣдующій пріемъ. Тяжелый шаръ при помощи нитки, перекинутой черезъ блокъ, подвязанъ къ рычагу, похожему на ключъ телеграфнаго аппарата Морза. Если пережечь нить, то начинается паденіе, и токъ замыкается. Шаръ падаетъ въ коробку, прикрѣпленную къ другому концу рычага, вслѣдствіе чего токъ въ этотъ моментъ размыкается.

Эти сигналы посредствомъ магнита отмѣчаются на вращающемся цилиндрѣ, на которомъ записываетъ свои колебанія камертонъ съ извѣстнымъ числомъ колебаній въ секунду. Опредѣливъ отсюда $t$ и зная $e$, построить кривую $e$, $t^2$. 24. Наблюденіе дифракціи, двойнаго преломленія и поляризаціи въ различныхъ случаяхъ.

Въ этомъ классѣ число упражненій меньше, чѣмъ въ предыдущихъ, такъ какъ 6 недѣльныхъ упражненій удѣляются на естественныя науки.

Происхожденіе приборовъ.

Утилизируя простые матеріалы, я лично построилъ рядъ приборовъ для придуманныхъ мною упражненій, а именно:
для 2 класса . . . . № 9, 10, 11, 12, 15, 17, 20, 26, 35, 36.
„ 1 „ . . . . . № 8, 21, 22, 29.
„ класса математики № 1, 2, 5, 6, 13, 18, 20, 23.

Я, однако, не сдѣлалъ ничего исключительнаго; остальные мои товарищи должны были сдѣлать то-же. Только для того, чтобы дать читателю понятіе о степени личнаго участія каждаго изъ насъ, я нѣсколько разъ въ текстѣ задачъ указывалъ на свои усовершенствованія снарядовъ или расположенія опытовъ, не придавая этому никакого иного значенія. Въ лабораторіи были построены мною или моимъ помощникомъ фотометры, мостики Витстона, ящики сопротивленій, приборъ для интерференціи звука. Мелкіе приборы пріобрѣтались изъ ежегодно отпускаемыхъ суммъ на лабораторные расходы, а именно: термометры, раздѣленные на цѣлые градусы и на десятые его доли; магниты прямые и подковообразные, штангель-циркули до 0,1 м.м., пальмеры до 0,1 м.м.; плоскія и сферическія зеркала, призмы, плоскопараллельныя пластинки, кубики, чечевицы; принадлежности для электрическихъ приборовъ: зажимы, проволока мѣдная, желѣзно-никкелевая и т. д. Болѣе дорогіе приборы намъ отпускаетъ Министерство Народнаго Просвѣщенія по просьбѣ преподавателя, завѣдывающаго лабораторіей. Такимъ образомъ, наши Робервалевскіе вѣсы съ чувствительностью въ 0,05 gr., наши аптекарскіе вѣсы съ чувствительностью до 0,01 gr., аккумуляторы числомъ 5, амперметры съ точностью до 0,1 ампера, вольтметры и т. д. имѣютъ указанное происхожденіе.

Наконецъ, въ небольшомъ числѣ задачъ мы пользуемся также приборами, служащими для преподаванія въ классѣ; сюда можно отнести изъ указанныхъ раньше задачъ спектроскопъ, машину Грамма, насосъ Калльете.

**III. Подготовка къ преподаванію, жалованье и часы службы.**

Нормальное движеніе лицъ, желающихъ быть преподавателями французскихъ лицеевъ, слѣдующее. По окончаніи такъ называемаго класса математики ученики, подготовляющіеся къ преподаванію наукъ, поступаютъ въ такъ называемый классъ специальной математики. Здѣсь они находятся вмѣстѣ съ будущими кандидатами въ Политехническую школу, т. е. съ будущими правительственными инженерами или артиллерійскими и саперными офицерами. Курсы у всѣхъ нихъ совершенно общіе. Они состоятъ изъ алгебры, анализа, тригонометріи, аналитической геометріи, начертательной геометріи, механики и, кромѣ того, физики и химіи въ размѣрѣ 6 годовыхъ часовъ. При этомъ на долю физики приходится 4 часа, въ теченіе которыхъ изучается оптика, теплота, электростатика, магнитизмъ и измѣренія. Классное преподаваніе дополняется практическими занятіями черезъ каждые двѣ недѣли по два часа, причемъ характеръ ихъ нѣсколько болѣе трудный, сравнительно съ тѣмъ, который былъ созданъ въ эпоху реформы 1902 г.

Пробывъ въ этихъ классахъ отъ двухъ до трехъ лѣтъ, ученики съ успѣхомъ выдерживаютъ конкурсное испытаніе для поступленія на отдѣленіе наукъ Высшей нормальной школы. Число принимаемыхъ въ студенты опредѣляется приказомъ министра, сообразно потребностямъ. Въ настоящее время въ среднемъ оно достигаетъ 20—25 человѣкъ. Выдержавшіе испытаніе первыми зачисляются пансіонерами Высшей нормальной школы, помѣщающейся по улицѣ Ульмъ въ Парижѣ. Они посѣщаютъ лекціи въ Сорбоннѣ. Остальные получаютъ ежегодно стипендіи отъ 1200 до 1500 франковъ; они посѣщаютъ лекціи въ Сорбоннѣ или въ извѣстныхъ провинціальныхъ университетахъ.

Первые два года идутъ на приготовленіе къ четыремъ свидѣтельствамъ по избраннымъ наукамъ; такія свидѣтельства, впрочемъ, получаютъ и тѣ студенты, которые себя прямо не предназначаютъ къ преподавательской дѣятельности. Третій годъ отводится исключительно для образованія будущихъ пре-

подавателей; онъ посвящается на приготовленіе къ конкурсному испытанію на особое званіе агреже (agrégé). Кто счастливо его выдерживаетъ, тотъ можетъ получить званіе преподавателя. Въ теченіе этого третьяго года студенты пріобрѣтаютъ новыя научныя познанія и въ теченіе 3 недѣль посвящаютъ себя своей будущей профессіи, отбывая стажъ въ одномъ изъ лицеевъ подъ руководствомъ опытнаго преподавателя. Испытаніе на званіе агреже заключаетъ въ себѣ, впрочемъ, и очень важную педагогическую сторону; кандидатъ даетъ пробные уроки, одинъ урокъ по физикѣ и одинъ по химіи, передъ жюри, состоящимъ изъ генеральныхъ инспекторовъ и преподавателя даннаго лицея, и здѣсь онъ долженъ показать свои достоинства. Число агреже ежегодно устанавливается заранѣе и колеблется теперь около 15. Очень долго оно держалось около 10, между тѣмъ какъ число кандидатовъ переходитъ за сотню.

Кромѣ только что описанной группы студентовъ на эти конкурсы являются еще и другіе кандидаты: учителя коллежей; исполняющіе должность учителей въ лицеяхъ, но не прошедшіе черезъ правильную школу или еще не выдержавшіе конкурснаго испытанія на званіе агреже; надзиратели, имѣющіе тѣ-же дипломы или имъ равноцѣнные, но которые за отсутствіемъ вакансій въ коллежахъ должны были принять эти низшія мѣста; помощники преподавателя или лаборанты при каѳедрѣ физики въ университетахъ.

На ряду съ преподавателями, назначенными согласно описанному сейчасъ экзамену, съ нѣкотораго времени находятся у дѣла учителя, не подвергавшіеся никакому конкурсу и имѣющіе право на званіе преподавателя лицея. Кандидаты, неудачно державшіе вышеуказанные конкурсные экзамены, и надзиратели, если они того заслуживаютъ, могутъ быть назначены преподавателями коллежа, и даже, если генеральные инспекторы найдутъ ихъ достойными,—преподавателями лицея, если нѣтъ агреже, и тогда они получаютъ званіе исполняющаго должность преподавателя. Нѣкоторые изъ нихъ, какъ было уже сказано, потомъ подвергаются испытанію на званіе агреже и удачно его выдерживаютъ. Обыкновенно это молодые люди, которые еще не имѣютъ педагогическаго опыта, но которые успѣли запастись солидными научными знаніями, требуемыми отъ каждаго кандидата. Однако, рядомъ съ ними можно встрѣтить и болѣе зрѣлыхъ

конкуррентовъ изъ исполняющихъ должность преподавателя; эти послѣдніе часто могутъ очень хорошо вести классное преподаваніе, но имъ мѣшаютъ разныя обстоятельства пріобрѣсти соотвѣтственную для конкурса подготовку. Въ послѣдніе годы такихъ лицъ иногда прямо назначаютъ преподавателями со всѣми правами, присвоенными этому званію, а именно: болѣе высокимъ окладомъ и меньшимъ числомъ служебныхъ часовъ.

Такимъ образомъ современный составъ преподавателей состоитъ: изъ преподавателей коллежа; исполняющихъ должность преподавателя лицея; преподавателей лицея съ званіемъ агреже или безъ этого званія.

Жалованье и служебные часы. Жалованье и служебные часы мѣняются въ зависимости отъ званія преподавателя. Преподаватели лицеевъ въ Парижѣ и въ Версалѣ, избираемые между наилучшими изъ провинціальныхъ, начинаютъ свою службу съ 5000 франковъ. Если они имѣютъ при этомъ званіе агреже, что обыкновенно и бываетъ, то жалованье ихъ повышается еще на 500 франковъ. Это жалованье повышается въ теченіе службы пять разъ и достигаетъ 7500 франковъ; въ этомъ случаѣ они числятся на службѣ въ 1 разрядѣ. Но ихъ могутъ повышать еще „внѣ разряда", и тогда ихъ окладъ поднимается еще на 1000 фр.; если-же при этомъ они обладаютъ званіемъ агреже, то окончательное жалованье можетъ достигнуть 9000 франковъ. Изъ жалованья государство удерживаетъ 5% въ пенсію, которая выдается по достиженіи 60-лѣтняго возраста. Въ пенсію идетъ половина жалованья плюсъ $n/60$ его, причемъ $n$ означаетъ число лѣтъ службы свыше 30-ти; пенсія исчисляется по средней величинѣ жалованья за послѣдніе 5 лѣтъ службы.

Прибавка въ 500 франковъ дѣлается лишь по пробытіи извѣстнаго числа лѣтъ на младшемъ окладѣ; минимумы этого числа лѣтъ въ послѣдовательномъ порядкѣ прибавокъ суть: 1; 2; 3, 4 и 4 года; никакого максимума не положено.

За установленное жалованье преподаватели физики въ Парижѣ должны давать опредѣленное число недѣльныхъ часовъ. Преподаватели 1 разряда, т. е. имѣющіе по меньшей мѣрѣ 6 часовъ въ спеціальныхъ классахъ, въ Центральной школѣ, въ военной школѣ Сенъ-Сиръ, въ классѣ математики, преподаютъ 12 часовъ въ недѣлю; остальные преподаватели, называемые пре-

подавателями второго разряда, даютъ 14 уроковъ за то-же жалованье. Преподаватель, ведущій лабораторію, понижаетъ свой максимумъ часовъ на 1 часъ. Но время для приготовленія опытовъ къ урокамъ, для практическихъ упражненій и для исправленія письменныхъ работъ въ счетъ служебныхъ часовъ не принимается. Однако, во вниманіе къ очень трудной работѣ, связанной съ подготовленіемъ практическихъ занятій, 1 часъ этихъ занятій съ учениками намъ засчитывается за $1^1/_2$ часа.

Обыкновенно число часовъ преподаванія въ данномъ лицеѣ превышаетъ установленный для каждаго преподавателя максимумъ, и за дополнительные уроки установлена особая плата по 250 франковъ за недѣльный часъ.

Въ провинціи жалованье меньше, а число обязательныхъ служебныхъ часовъ больше. Тамъ начинаютъ съ 3200 франковъ; за званіе агреже прибавляется 500 фр.; каждая прибавка равна 400 фр. Такимъ образомъ провинціальный преподаватель 1 разряда можетъ получить въ концѣ концовъ 5200 фр. Если-же его назначатъ „внѣ разряда", то ему прибавляется еще 500 фр. Минимумъ времени для послѣдовательныхъ прибавокъ идетъ въ порядкѣ: 2; 3; 4; 5 и 5 лѣтъ. Число обязательныхъ часовъ для преподавателей 1 разряда—14 часовъ, для преподавателей 2-го разряда –15 часовъ. За дополнительные уроки платятъ всего 150 франковъ за недѣльный часъ.

Исполняющіе должность начинаютъ съ 2800 фр. Тѣ изъ нихъ, которые удостоены званія агреже, получаютъ въ теченіе 3 лѣтъ по 300 франковъ въ дополненіе. Прибавка равна 400 франковъ. Они не назначаются „внѣ разряда"; число обязательныхъ часовъ у нихъ 17; дополнительные часы оплачиваются по 150 франковъ.

Нужно замѣтить, что исполняющіе должность преподавателя, достигшіе 50-тилѣтняго возраста, имѣютъ обязательный максимумъ въ 15 часовъ, какъ штатные преподаватели.

## IV. Заключеніе.

Удачна-ли реформа 1902 г.?—Къ чему она привела? Отвѣтъ на первый вопросъ мы даемъ вполнѣ утвердительный, и всѣ преподаватели въ этомъ согласны. Программы по физикѣ оказались болѣе современными, а рекомендованные методы болѣе поучительными; постоянное стремлніе къ созданію простыхъ

приборовъ и къ улучшенію практическихъ занятій, все это направило духъ преподавателей въ сторону дѣйствительности, и ихъ курсы, равно какъ и употребительные учебники, стали, конечно, лучшими по сравненію со старыми. Ліаръ, вице-ректоръ Парижской академіи, оффиціально говоритъ нижеслѣдующее: „Почти вездѣ преподаваніе физики находится въ удовлетворительномъ состояніи; оно совершенствуется непрерывно. Практическія упражненія начинаютъ приносить уже свои плоды, которые служатъ преподавателямъ наградой за ихъ рвеніе. У учениковъ развиваются физическій духъ и реальный смыслъ“.

И дѣйствительно, когда начинаешь сравнивать теперешнихъ учениковъ съ учениками, бывшими 10 лѣтъ тому назадъ, то испытываешь благопріятныя впечатлѣнія въ пользу теперешнихъ. Они отвѣчаютъ свои уроки не по выученной книжкѣ, а совершенно сознательно; изучаемыя ими явленія протекаютъ у нихъ на глазахъ; они становятся для нихъ обычными, близкими. Ученики пріобрѣли вѣру, что эти знанія будутъ имъ полезны потомъ, когда борьба за жизнь потребуетъ отъ нихъ гибкости ума и дѣятельности духа.

Мы твердо убѣждены въ томъ, что мы принимаемъ теперь бо̀льшее участіе въ общемъ формированіи нашихъ учениковъ и что мы способствуемъ тѣмъ самымъ созданію изъ нихъ лучшихъ французовъ.

*Парижъ.*

---

# Акустическія свойства аудиторій.

## Маража.

Когда въ данномъ помѣщеніи образуется звукъ, то обыкновенно можно отмѣтить три рода колебаній: 1) первичной волны, идущей отъ источника звука; 2) разсѣянныхъ звуковыхъ волнъ отъ большаго числа стѣнъ и угловъ и 3) отраженныхъ волнъ отъ стѣнъ, которыя могутъ служить для образованія эхо. Въ хорошемъ въ акустическомъ отношеніи залѣ не должно быть эхо, а резонансовые тоны должны быть настолько короткими, чтобы усиливать только данный тонъ и нисколько не вліять на непосредственно слѣдующій за нимъ.

Американскій инженеръ Уоэллесъ Себайнъ установилъ законъ, которому слѣдуетъ резонансовый тонъ. Для своихъ изслѣдованій, которыя онъ подробно описалъ въ книгѣ Architectural Acoustics, Part I. Reverberation of the american architectural acoustics, 1900, онъ употреблялъ органную трубу тона $c_3$ въ 1024 колебаній и опредѣлялъ время $t$, въ теченіе котораго слушатель воспринималъ этотъ тонъ до его полнаго загасанія. Результаты своихъ измѣреній онъ выразилъ формулою

$$t = \frac{K}{a + x}, \qquad (1)$$

въ которой $K$ означаетъ нѣкоторый коэффиціентъ, зависящій отъ объема зала $v$, а именно $K = 0,171\, v$; $a$—мѣру поглощенія звука въ пустомъ залѣ, $x$—то-же при слушателяхъ.

Найдя $t$ при $x = o$, при пустомъ залѣ, можно вычислить $a$; а опредѣливъ затѣмъ $t'$ при наполненномъ залѣ, можно вычислить $x$. Себайнъ составилъ цѣлыя таблицы для опредѣленія поглощенія звука; принявъ за единицу отверстіе въ 1 $m^2$, онъ нашелъ, что поглощеніе одного слушателя равно 0,44.

Формулу Себайна подробно провѣрялъ Маражъ. Онъ замѣнилъ органную трубу сиреною, которую настраивалъ подъ

голосъ оратора и помѣщалъ на его кафедрѣ, а слушателей распредѣлялъ въ различныхъ мѣстахъ даннаго зала. Такимъ образомъ онъ опредѣлялъ времена $t$ для пяти гласныхъ $U$, $O$, $A$, $E$, $J$; вмѣстѣ съ тѣмъ онъ нашелъ, что въ одинъ часъ ораторъ отдаетъ около 160 kgm. энергіи.

Вотъ числа, характеризующія его опыты:

| Гласныя: | $U$ | $O$ | $A$ | $E$ | $J$ |
|---|---|---|---|---|---|
| Высота тона: | $e_2$ | $e_2$ | $e_2$ | $a_4$ | $a_6$ |
| Энергія тона въ секунду: | 0,052 | 0,036 | 0,052 | 0,036 | 0,002 |

Продолжительность звучанія всегда была равна 3 секундамъ.

Маражъ изслѣдовалъ шесть различныхъ залъ въ Парижѣ, объемъ которыхъ измѣнялся отъ 63000 m³ до 646 m³ и нашелъ слѣдующіе результаты.

Залъ Трокадеро. 14 опытовъ; объемъ въ 63000 m³; число слушателей 4500; діаметръ зала 58 m; высота до купола 55 m.

| Гласныя: | $U$ | $O$ | $A$ | $E$ | $J$ |
|---|---|---|---|---|---|
| $t$ при пустомъ залѣ | 2 | 2,1 | 2 | 2 | 1,9 |
| $t'$ при наполненномъ залѣ | 1,5 | 1,5 | 1,4 | 1,4 | 1,4 |

Итакъ, чтобы въ Трокадеро оратора было хорошо слышно, онъ долженъ говорить медленно и дѣлать частыя паузы. Ему нѣтъ надобности напрягаться сильнѣе, чѣмъ въ маленькомъ залѣ съ небольшимъ числомъ слушателей.

Большой амфитеатръ Сорбонны. 11 опытовъ; объемъ 13600 m³; число слушателей 3000; потолокъ стеклянный; площадь 150 m²; высота 17 m.

| Результаты: | $U$ | $O$ | $A$ | $E$ | $J$ |
|---|---|---|---|---|---|
| $t$ | 2 | 2,8 | 2,6 | 1,9 | 1,8 |
| $t'$ | 0,9 | 1 | 1 | 0,9 | 0,9 |

Здѣсь мы видимъ, что $t'$ значительно меньше $t$. Архитектору удалось почти закрыть стѣны, помѣстивъ по стѣнамъ ложи для слушателей. Стеклянный потолокъ, находясь на разстояніи всего 17 m. отъ пола, также не помогаетъ образованію эхо. Акустика этого зала великолѣпна.

Залъ Ришелье. 13 опытовъ; объемъ 6000 m³; высота 10,5 m; число слушателей 800.

| Результаты: | $U$ | $O$ | $A$ | $E$ | $J$ |
|---|---|---|---|---|---|
| $t$ | 1,8 | 2,2 | 2 | 1,6 | 1,9 |
| $t'$ | 1,1 | 0,8 | 0,9 | 1 | 1 |

Залъ Медицинской Академіи. 78 опытовъ; объемъ 1992 $m^3$; среднее число слушателей 200.

| Результаты: | $U$ | $O$ | $A$ | $E$ | $J$ |
|---|---|---|---|---|---|
| $t$ | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| $t'$ | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |

Этотъ неожиданный результатъ и обусловилъ большое число наблюденій. Столь короткаго резонанса Маражъ не наблюдалъ ни въ одномъ другомъ помѣщеніи. Отсюда онъ пришелъ къ тому заключенію, что акустическія свойста даннаго зала можно значительно измѣнить, если увеличить поглощеніе стѣнъ. Для лекціоннаго зала съ спокойно сидящими слушателями нужно дѣлать по меньше $t'$, а для зала собраній лучше уменьшать резонансъ.

Физическая аудиторія Сорбонны. 8 опытовъ; объемъ 890 $m^3$; число слушателей 250.

| Результаты: | $U$ | $O$ | $A$ | $E$ | $J$ |
|---|---|---|---|---|---|
| $t$ | 1,4 | 1,6 | 1,2 | 1,4 | 1,2 |
| $t'$ | 0,6 | 0,7 | 0,6 | 0,6 | 0,6 |

Эта аудиторія для разговора обладаетъ наилучшими акустическими условіями.

Физіологическая аудиторія Сорбонны. 8 опытовъ; объемъ 646 $m^3$; число слушателей 150.

| Результаты: | $U$ | $O$ | $A$ | $E$ | $J$ |
|---|---|---|---|---|---|
| $t$ | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 |
| $t'$ | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 |

Акустика этой аудиторіи великолѣпна.

На основаніи своихъ разнообразныхъ и интересныхъ изслѣдованій Маражъ приходитъ къ слѣдующимъ выводамъ.

1. Сила резонансовыхъ тоновъ, согласно утвержденію Себайна, можетъ дѣйствительно служить для характеристики даннаго зала.

2. Продолжительность этихъ тоновъ измѣняется съ тембромъ, высотою и силою первичнаго звука. Поэтому весьма возможно, что данный залъ очень хорошъ для оратора и очень плохъ для оркестра.

3. Помощью формулы (1) можно выразить и опредѣлить длительность резонанса въ функціи числа слушателей.

4. При хорошей акустикѣ зала продолжительность резонансовыхъ тоновъ для всѣхъ мѣстъ и для всѣхъ гласныхъ должна быть одинакова въ предѣлахъ отъ 0,5 до 1 секунды.

5. Если эта продолжительность превосходитъ 1 секунду, то въ такомъ залѣ нужно говорить медленно и выговаривать слова отчетливо, не усиливая голоса.

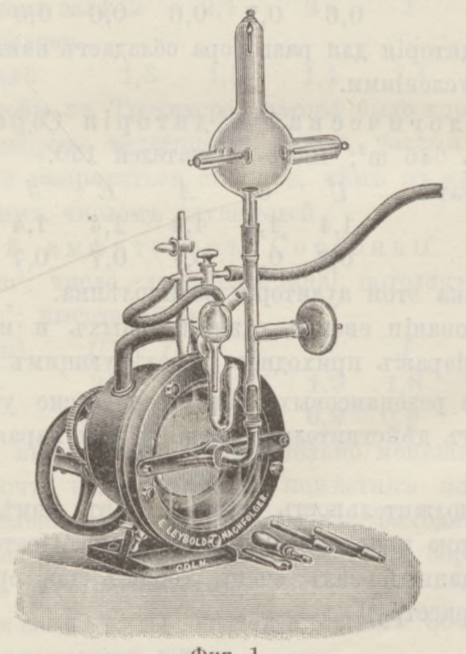
6. Новый методъ даетъ возможность заранѣе опредѣлить тѣ условія, говоря при которыхъ данный ораторъ будетъ наилучше услышанъ своими слушателями.

Himmel und Erde, 1097, p. 280.

## Новый ртутный насосъ Геде.

### Фирмы Э. Лейбольдтъ.

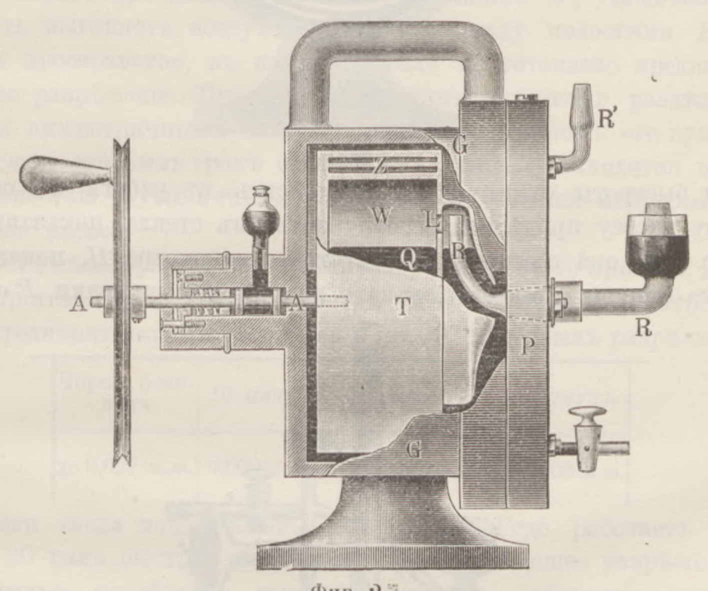
Полученіе большихъ разрѣженій уже давно занимало многихъ физиковъ и механиковъ, и въ этомъ направленіи уже сдѣлано не мало. Среди этихъ аппаратовъ, повидимому, насосу Геде придется занять одно изъ почетныхъ мѣстъ.




Фиг. 1.

Общій видъ насоса Геде представленъ на фиг. 1, а его подробности на фиг. 2 и фиг. 3. Насосъ состоитъ изъ желѣзнаго сосуда, наполовину наполненнаго ртутью; внутри его находится вращающійся фарфоровый барабанъ съ нѣсколькими отдѣленіями, которыя при вращеніи попеременно заполняются воздухомъ и ртутью. Каждое отдѣленіе захватываетъ воздухъ изъ разрѣжаемаго сосуда и выталкиваетъ его наружу. Система этого насоса похожа на газовые часы, но въ часахъ текущій газъ приводитъ ихъ во вращеніе, а въ насосѣ Геде вращеніе барабана приводитъ въ движеніе газъ.

Передняя стѣнка насоса состоитъ изъ толстаго стекла, задѣланнаго въ металлическую оправу *P* фиг. 2. Въ этой стѣнѣ просверлено три отверстія; изъ нихъ отверстіе *R* служитъ для




Фиг. 2.

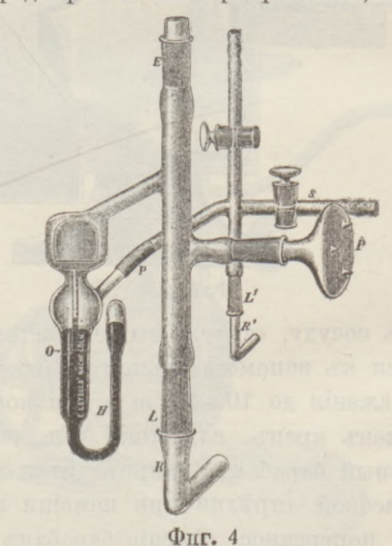
присоединенія къ сосуду, откуда выкачивается газъ; отверстіе *R'* присоединяется къ вспомогательному насосу для образованія начальнаго разрѣженія до 10—20 m.m.; наконецъ, въ нижнее отверстіе вставленъ кранъ, служащій для наполненія насоса ртутью. Фарфоровый барабанъ *T* приводится въ медленное вращеніе противъ часовой стрѣлки при помощи колеса съ рукояткою *A*, фиг. 2; поперечное сѣченіе барабана хорошо видно на

фиг. 3, гдѣ три его отдѣленія изображены бѣлыми линіями на черномъ фонѣ ртути.




Фиг. 3.

Для быстроты манипуляцій и удобствъ въ работѣ къ описанному насосу придѣлана особая часть изъ стекла, показанная на фиг. 4-й; она состоитъ: изъ ртутнаго манометра *H*, показывающаго степень предварительнаго разрѣженія; сушилки *P* съ фос-




Фиг. 4

форнокислымъ ангидридомъ; пришлифованныхъ концовъ: $E$ для присоединенія къ разрѣжаемому пространству; $L$ и $L_1$ для присоединенія къ насосу въ мѣстахъ $R$ и $R_1$ (фиг. 2). Остальные концы могутъ служить для присоединенія къ манометру Макъ-Леода или къ испытуемымъ трубкамъ. Дѣйствіе насоса состоитъ въ томъ, что при вращеніи фарфороваго барабана противъ часовой стрѣлки, со скоростью отъ 16 до 20 оборотовъ въ минуту, пространство $W_1$, соединенное черезъ отверстіе $L_1$ фиг. 3-й съ испытуемымъ объемомъ, увеличивается, и вслѣдствіе этого образуется разрѣженіе, пока отверстіе $L_1$ не очутится подъ поверхностью ртути $Q$ и не станетъ въ положеніе $L_2$. Въ этотъ моментъ сообщеніе съ испытуемымъ сосудомъ прекращается. При дальнѣйшемъ вращеніи барабана пространство $W_2$ уменьшается и ртуть выгоняетъ воздухъ по каналу между полостями $Z_1$ и $Z_2$ въ пространство, въ которомъ было подготовлено предварительное разрѣженіе. Такъ какъ барабанъ полостями раздѣленъ на три симметричныхъ части, то при непрерывномъ его вращеніи всегда одно изъ трехъ отверстій $L$ (фиг. 2) находится надъ поверхностью ртути, и такимъ образомъ получается непрерывное дѣйствіе насоса.

Вотъ нѣкоторыя числа для характеристики этого прибора. При благопріятной работѣ насоса сосудъ вмѣстимостью въ 6 литровъ, при предварительномъ разрѣженіи въ 10 mm., былъ разрѣженъ:

| Черезъ 5 минутъ. | 10 минутъ. | 12 минутъ. | 15 минутъ. |
|---|---|---|---|
| до 0,027 m.m. | 0,00047 m.m | 0,00001 m.m. | 0,000003 m.m. |

Эти числа показываютъ, что насосъ Геде работаетъ отъ 10 до 20 разъ быстрѣе другихъ и даетъ наивысшее разрѣженіе. Максимумъ разрѣженія можно достигнуть, обложивъ насосъ льдомъ, такъ какъ тогда уменьшается упругость ртутныхъ паровъ до 0,0002 m.m.

Цѣна этого насоса 330 марокъ безъ ртути; ртути онъ требуетъ около 1,5 литра. Онъ уже достаточно распространенъ и находится болѣе чѣмъ въ 300 учрежденіяхъ и физическихъ институтахъ. Фирма Лейбольдта его постоянно совершенствуетъ, и еще въ послѣднія недѣли ей удалось сообщить этому насосу особую прочность и защитить его противъ поврежденій, которыя раньше случались при внезапномъ прорывѣ атмосфернаго давленія внутрь разрѣжаемаго пространства.

# Библіографія.

13. La Revue de l'Enseignement des Sciences. Подъ такимъ заглавіемъ съ января нынѣшняго года издается въ Парижѣ новый журналъ, посвященный интересамъ преподаванія физико-математическихъ наукъ въ начальной и средней школахъ. Онъ былъ основанъ большою группою преподавателей Высшей нормальной школы, лицеевъ и коллежей, пожелавшихъ сдѣлать это Обозрѣніе органомъ общей педагогической работы всѣхъ французскихъ преподавателей. Пока журналъ выходитъ 10 разъ въ годъ, въ объемѣ около 20—30 печатныхъ листовъ небольшого формата, и стоитъ всего 5 франковъ въ годъ во Франціи и 6 фр. за границею. Въ теченіе весенняго полугодія вышло 5 нумеровъ, и уже видно, что физикѣ въ нихъ отведено замѣтное мѣсто. Лемуанъ напечаталъ статью о геометрической оптикѣ и свѣтовыхъ волнахъ и о союзѣ физиковъ; Массулье сдѣлалъ сводъ отзывовъ американскихъ преподавателей о практическихъ занятіяхъ по физикѣ; Мургъ написалъ статью о физическихъ и химическихъ равновѣсіяхъ; Пешё—объ электрическихъ измѣреніяхъ въ лабораторіи Школы искусствъ и ремеслъ. На осеннее полугодіе заявлены очень интересныя статьи многихъ другихъ преподавателей. Если журналъ и въ будущемъ будетъ столь разнообразенъ и содержателенъ, то онъ несомнѣнно очень скоро займетъ почетное мѣсто въ ряду научныхъ и педагогическихъ журналовъ и пріобрѣтетъ себѣ симпатіи среди преподавателей.

Подписку принимаетъ: Libraire H. Le Soudier, 174, boul. Saint-Germain, Paris. *Г. Де-Метцъ.*

# Хроника.

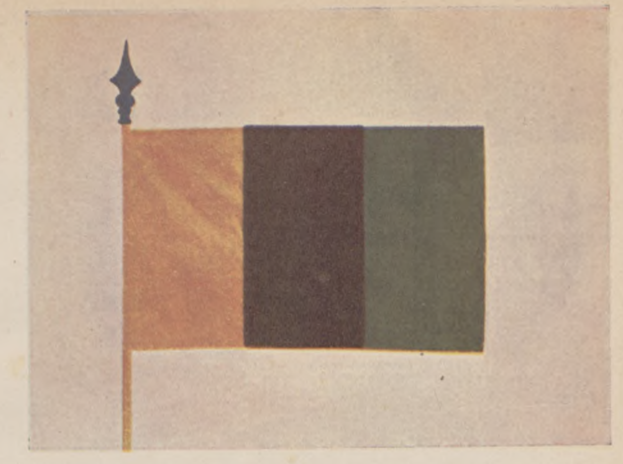
5. *Международная выставка современныхъ приборовъ освѣщенія и нагрѣванія* будетъ открыта въ декабрѣ 1907 г. въ С.-Петербургѣ Императорскимъ Техническимъ Обществомъ. Выставка продлится около двухъ мѣсяцевъ; въ теченіе этого времени состоится и съѣздъ спеціалистовъ по этимъ вопросамъ. Выставка, съѣздъ и рядъ лекцій по столь важнымъ практическимъ вопросамъ обѣщаютъ привлечь вниманіе и участіе многихъ лицъ и учрежденій. За справками можно обращаться: С.-Петербургъ, Пантелеймоновская, 2, въ Комитетъ выставки.

Электричество, 1907, стр. 248.

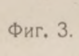
## Цвѣтная фотографія по способу А. и Л. Люмьеръ.

*„Физическое Обозрѣніе“ № 6—1907.*

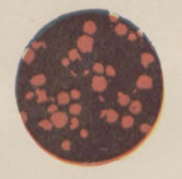
Фиг. 2.



Негативъ знамени въ дополнительныхъ цвѣтахъ послѣ перваго проявленія.



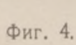
Фиг. 3.



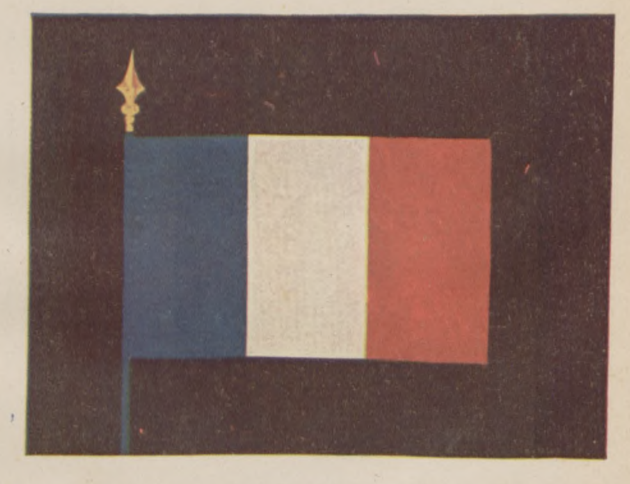




Микрофотографія автохромной пластинки въ каждой цвѣтной полосѣ негатива; увеличеніе въ 150 діаметровъ.



Фиг. 4.



Позитивъ знамени въ дѣйствительныхъ цвѣтахъ послѣ втораго проявленія и фиксированія.





